

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique



PROJET DE FIN DE CYCLE

MASTER

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Mécanique

Parcours : Master

Spécialité : Énergétique

Thème

Conditionnement d'air d'une salle de
cinéma

Préparé par :

MAAZOUZI Toufik et REBIA Hithem

Soutenu publiquement le : 27 / 07 / 2022, devant le jury composé de :

M. Bouzouini Mohamed	Maître Assistant "A" (UIK.Tiaret)	Président
M. Belmiloud Mohamed Amine	Maître de Conférences "B" (UIK.Tiaret)	Examinateur
Mme. Khaldi Sabrina	Maître Assistante "A" (UIK.Tiaret)	Examinatrice
M. Abed Belkacem	Maître de Conférences "A" (UIK.Tiaret)	Encadrant

Année universitaire : 2021 - 2022

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous tenons à remercier Allah le tout puissant, notre créateur qui nous a donné la force pour accomplir ce modeste travail. Ce présent mémoire de fin cycle, n'aurait pu avoir le jour sans contribution de nombreuses personnes.

Dont nous faisons aujourd'hui un plaisir et un devoir de les remercier.

Avant tout, nous tenons à remercier messieurs les membres du jury pour leurs collaborations

durant l'examen de ce travail et leurs participations à la soutenance. Nous adressons tout particulièrement notre reconnaissance à notre encadreur

Mr : Abed Belkacem pour l'encadrement de cette thèse, pour ses conseils et son aide. Sans oublier les enseignants du département génie mécanique. Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce présent mémoire, trouvent ici l'expression de notre profondes gratitudes et respect.

DÉDICACES

C'EST AVEC UNE TRÈS GRANDE ÉMOTION

QUE JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL :

**À MES PARENTS QUI ONT TOUT SACRIFIÉ POUR QUE J'ARRIVE À CE
STADE DE RÉUSSITE ET QUI M'ONT SOUTENU DURANT TOUTE LA
DURÉE DE MES ÉTUDES.**

**À TOUS LES MEMBRES DE MA FAMILLE, FRÈRES ET SŒURS, PETITS
ET GRANDS**

À MON COLLÈGUE QUI M'A AIDÉ À RÉALISER CE TRAVAIL

À TOUS CEUX QUI M'AIMENT ET QUE J'AIME.

« REBIA HITHEM »

DÉDICACES

C'EST AVEC UNE TRÈS GRANDE ÉMOTION ET UN IMMENSE PLAISIR

QUE JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL :

À MES PARENTS QUI ONT TOUT SACRIFIÉ POUR QUE J'ARRIVE À CE

STADE DE RÉUSSITE ET QUI M'ONT SOUTENU DURANT TOUTE LA

DURÉE DE MES ÉTUDES.

À TOUS LES MEMBRES DE MA FAMILLE, FRÈRES ET SŒURS, PETITS

ET GRANDS

À TOUS MES CHERS AMIS QUI M'ONT BEAUCOUP AIDÉ DURANT

MES ÉTUDES.

À TOUS CEUX QUI M'AIMENT ET QUE J'AIME.

« MAZOUZI TOUFIK »

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Introduction générale..... 1

PARTIE I : Traitement thermique de l'air

Chapitre 1 : Production de chaleur 3

I.1.1. Définition 3

I.1.2. Différents modes de chauffage..... 3

a. Chauffage électrique 3

b. Chauffage par combustions..... 4

c. Chauffage Solaire 5

Chapitre 2 : Production de froid..... 7

I.2.1. Introduction..... 7

I.2.2. Modes de production de froid et application 7

I.2.3. Fluide frigorigène..... 7

I.2.4. Machines frigorifiques..... 8

a. Evaporateur 9

b. Compresseur 10

c. Condenseur 11

d. Détendeur..... 11

I.2.5. Machines à absorption 12

I.2.6. Pompe à chaleur (PAC)..... 14

a. Principe de fonctionnement d'une PAC 14

b. Différents types de PAC 15

c. Types des unités (PAC) 16

d. Performance énergétique d'une pompe à chaleur 17

e. Avantages et inconvénients d'une PAC 18

Chapitre 3 : Isolation thermique 19

I.3.1. Définition 19

I.3.2. Domaine d'application 19

I.3.3. Différents types d'isolation 19

I.3.4. Classification des matériaux poreux et des isolants..... 20

I.3.5. Choix de l'isolant 22

a. Isolation froid.....	22
b. Isolation chaud	22
I.3.6. Choix de la protection de l'isolation.....	23
PARTIE II : Processus de traitement d'air	
Chapitre 1 : Description de centrale de traitement d'air (CTA)	25
II.1.1. Définition.....	25
II.1.2. Domaines d'applications.....	25
II.1.3. Rôle d'une CTA.....	26
II.1.4. Différents Types de CTA	26
a. CTA simple flux.....	26
b. Centrale double flux.....	27
II.1.5. Fonctionnement de CTA (général)	28
II.1.6. Rôle des divers éléments Principaux	28
a. Batteries de refroidissement et de chauffe	28
b. Humidificateurs	30
c. Ventilateurs	31
d. Filtre	31
Chapitre 2 : Appareils de régulation et mesure dans une CTA.....	32
II.2.1. Mesure de l'humidité	32
a. Grandeurs de mesure.....	32
b. Procédés de mesure d'humidité et leurs applications.....	32
II.2.2. Mesure des pressions.....	36
PARTIE III : Principes généraux en climatisation	
III. Introduction	39
Chapitre 1 : Air humide et sec	40
III.1.1. Air sec	40
III.1.2. Principales caractéristiques de l'air.....	40
III.1.3. Air humide.....	41
Chapitre 2 : Grandeurs physiques intervenant dans les modifications d'état de l'air atmosphérique ambiant	42
III.2.1. Températures (sèche ou humide)	42
III.2.2. Humidité relative [%], (e , ϕp , Hr , ε).....	42
III.2.3. Humidité absolue (teneur en vapeur d'eau) (X ou W [Kg/Kg d'air sec]).....	43
III.2.4. Degré de saturation [Ψ]	43
III.2.5. Point de rosée (température de rosée (tr)).....	45
III.2.6. Masse volumique de l'air humide (ρ)	45

III.2.7. Chaleur sensible (Q_s ou H_s)	45
III.2.8. Chaleur latente (Q_L ou H_L).....	45
III.2.9. Unité d'air humide.....	46
Chapitre 3 : Diagramme psychrométrique.....	48
III.3.1. Description et construction	48
III.3.2. Diagramme de l'air humide.....	48
III.3.3. Effet barométrique sur les caractéristiques paramétriques d'air humide.....	51
III.3.4. Représentation graphique des différentes transformations d'état de l'air sur un diagramme psychrométrique	51
III.3.5. Détermination du point figuratif (M) mélange de deux(ou plusieurs) quantités d'air ..	53
Chapitre 4 : Étude de la climatisation d'une salle de cinéma à l'aide d'un CTA	55
III.4.1. Calculs préliminaires.....	57
a. Débit d'air neuf minimal	57
b. Débit de soufflage en air froid.....	57
c. Débit de soufflage en air chaud	57
d. Débit de soufflage à prévoir en toutes saisons	57
e. Taux d'air humide	57
III.4.2. Étude dans les conditions estivales.....	58
a. Point de soufflage en été.....	58
b. Point de mélange	58
c. Puissances et grandeurs caractéristiques des matériels.....	59
III.4.3. Étude dans les conditions hivernales	60
a. Point de soufflage en hiver.....	60
b. Point de mélange	60
c. Point de sortie de la batterie chaude.....	61
d. Puissance et grandeurs caractéristiques des matériels.....	61
III.4.4. Variante avec des ventilateurs à deux vitesses.....	61
a. Évolution de l'air	61
b. Point de soufflage SH'	62
c. Point de mélange MH' a pour coordonnées	62
d. Point de sortie de la batterie chaude	62
Conclusion générale	65
Références bibliographiques	
Résumé	

Liste des figures

Figure I.1.1. Convecteur électrique.....	3
Figure I.1.2. Exemple Combustion par houille.....	4
Figure I.1.3. Exemple de chauffage solaire.	5
Figure I.1.4. Capteur Solaire d'eau.	6
Figure I.2.1. Cycle frigorifique élémentaire	9
Figure I.2.2. Evaporateur.	10
Figure I.2.3. Compresseur frigorifique.	10
Figure I.2.4. Condenseur.....	11
Figure I.2.5. Détendeur	11
Figure I.2.6. Evaporateur	12
Figure I.2.7. L'évaporateur est amené à l'absorbeur	12
Figure I.2.8. Mesure de la vapeur d'eau	13
Figure I.2.9. Condenseur.....	13
Figure I.2.10. Schéma de principe d'une pompe à chaleur en mode chauffage.	14
Figure I.2.11. PAC en mode froid et chaud.	15
Figure I.2.12. PAC Géothermique.	15
Figure I.2.13. PAC Aérothermique.....	16
Figure I.2.14. PAC Hydrothermique.....	16
Figure I.2.15. Unité extérieure et intérieure d'un climatiseur individuel.....	17
Figure I.3.1. Isolation intérieur et extérieur.	20
Figure I.3.2. Fibre de bois.....	20
Figure I.3.3. Les plaques de verre cellulaire.	21
Figure I.3.4. Plaques aérogels.	22
Figure II.1.1. Installation de la CTA.....	25
Figure II.1.2. Détails d'une centrale de traitement d'air à simple flux.	27
Figure II.1.3. Centrale double flux.	27
Figure II.1.4. Fonctionnement de centrale de traitement d'air (CTA)	28
Figure II.1.5. Batterie chaude	29
Figure II.1.6. Batterie froide.	29
Figure II.1.7. Humidification par injection de vapeur.	30
Figure II.1.8. Humidification par pulvérisation d'eau.....	30
Figure II.1.9. Principe de ventilateur.	31
Figure II.1.10. Différents types des filtres.....	31

Figure II.2.1. Humidité relative de l'air en fonction de la température et de la différence psychrométrique.	33
Figure II.2.2. Psychromètre	34
Figure II.2.3. Structure de l'hygromètre capacitif	35
Figure II.2.4. Hygromètre	35
Figure II.2.5. Manomètres (haute et basse pression) pour installation frigorifique.....	36
Figure II.2.6. Exemple de manomètre pour liquide.....	37
Figure II.2.7. Exemple de mesure de pression à l'aide d'un tube de Pitot associé à un manomètre à colonne de liquide.	37
Figure III.2.1. Pression partielle (ou tension) de vapeur d'eau à la saturation en fonction de la température.....	42
Figure III.2.2. Diagramme psychrométrique montrant la grande affinité des courbes d'égal degré de saturation et d'égal humidité relative.	44
Figure III.2.3. Triangle d'évolution d'air dans le diagramme psychrométrique.	47
Figure III.3.1. Canevas du diagramme psychrométrique enthalpie-humidité absolue (M.veron).....	49
Figure III.3.2. Diagramme Psychrométrique.....	50
Figure III.3.3. Transformation isothermique.	52
Figure III.3.4. Transformation adiabatique.	52
Figure III.3.5. Transformation isohyde.	53
Figure III.3.6. La 1 ^{ère} méthode pour déterminer le Point figuratif (M).	54
Figure III.3.7. La 2 ^{ème} méthode pour déterminer le Point figuratif (M).	54
Figure III.4.1. Évolution d'air	63
Figure III.4.2. Schéma de principe de la CTA.....	63

Liste des tableaux

Tableau I.2.1. Températures d'ébullition de quelques fluides à la pression atmosphérique	8
Tableau II.2.1. Différence entre les thermomètres sec et humide.	33
Tableau III.2.1. Le terme $j.P$ de la formule de Mollier par rapport la température.	46

Nomenclature

Symbole	signification	Unité
<i>C_p</i>	Chaleur massique	[Kcal/Kg d'air sec]
<i>h</i>	Enthalpie de l'air humide	[KJ/Kg d'air sec]
H_E	L'enthalpie en été	[KW]
H_H	L'enthalpie en hiver	[KW]
M_E	La masse volumique en été	[Kge/s]
M_H	La masse volumique en hiver	[Kge/s]
<i>P</i>	La pression	[Kg/cm ² ou Pa]
P_{SE}	La puissance de soufflage en été	[KW]
P_{SH}	La puissance de soufflage en hiver	[KW]
<i>Q_s</i>	La chaleur sensible	[KJ/Kg d'air sec]
<i>Q_L</i>	La chaleur latente	[KJ/Kg d'air sec]
qm_{AN}	Débit d'air neuf	[Kg air sec /s]
qm_{AS}	Débit de soufflage	[Kg air sec /s]
<i>R</i>	Constante de la Mariotte Gay-Lussoc	[J/mol. K]
R_a	La constante de l'air sec	[Kg/m ³ .Kmol.K]
R_h	La constante de l'air humide	[Kg/m ³ .Kmol.K]
R_w	La constante de l'eau	[Kg/m ³ .Kmol.K]

t	Température sèche	[°C]
t'	Température humide	[°C]
tr	Température de rosée	[°C]
V	Le volume	[m ³]
v'	Volume massique de l'air humide	[m ³ /Kg air sec]
W	Humidité absolue	[Kg/Kg d'air sec]
φp	Humidité relative	[%]
ψ	Degré de saturation	$\left[\frac{Kg_{vap}/Kg_{d'airsec}}{Kg_{vap\ sat}/Kg_{d'airsec}} \right]$
ρ_{vap}	La masse volumique de la vapeur d'eau	[Kg /m ³]
ρ_{as}	La masse volumique de l'air sec	[Kg /m ³]
ρ_h	La masse volumique de l'air humide	[Kg /m ³]
$\Delta t_{SE\ max}$	L'écart de soufflage maximal en été	[K]
$\Delta t_{SH\ max}$	L'écart de soufflage maximal en hiver	[K]

Introduction générale

Introduction générale

La climatisation vise à la création des conditions satisfaisantes pour le confort humain dans les bâtiments, les bureaux, les centres commerciaux, les usines, etc.

Pour atteindre ce but, plusieurs paramètres sont contrôlés, il s'agit de la température, de l'hygrométrie, du renouvellement et de la filtration de l'air. En associant utilité et confort, ce secteur a toujours occupé une place primordiale pour le confort et le bien-être de l'homme.

La salle de cinéma est l'une parmi d'autres bâtiments qui ont besoin de chauffage pour l'hiver et la climatisation pour l'été.

Les cinéphiles désirent oublier le stress quotidien en regardant un bon film et savourer confortablement leur voyage dans un monde fictif. Des éclats de voix et des sources de lumière non désirées peuvent être aussi dérangeants qu'une mauvaise température ambiante et un mauvais climat et l'air est trop humide dans la salle de cinéma, doit être équipées par une centrale de traitement d'air (CTA).

Ce travail porte sur le conditionnement d'air d'une salle de cinéma pour obtenir le confort et la satisfaction pour les cinéphiles. Nous avons fait une étude pour construire une centrale de traitement d'air.

Notre mémoire est structuré en trois parties, chaque partie est devisée en chapitres.

La première partie, présente le traitement thermique de l'air, dans la première chapitre On parle de la production de la chaleur et dans la deuxième, sur la production de froid, et la troisième sur l'isolation thermique.

Dans la deuxième partie nous présentons processus de traitement d'air en deux chapitres, l'une parle sur la description de centrale de traitement d'air (CTA) et l'autre sur l'appareil de régulation et mesure dans CTA.

La dernière partie de ce mémoire passe par les principes généraux en climatisation dans le premier chapitre sur l'air humide et sec, ensuite dans le deuxième, Nous parlons des grandeurs physiques intervenant dans les modifications d'état de l'air atmosphérique ambiant, et le troisième chapitre concerne le diagramme psychrométrique, on termine par l'étude de la climatisation d'une salle de cinéma à l'aide d'une centrale de traitement d'air.

PARTIE I

Traitement thermique de l'air

Chapitre1 : Production de chaleur

I.1.1. Définition :

Le chauffage est l'action de transmettre de l'énergie thermique à un objet, un matériau ou à l'air ambiant, On distingue le chauffage à des fins de confort thermique (chauffage des locaux, de l'eau chaude sanitaire, etc.) et le chauffage à des fins industrielles (chauffage de pièces mécaniques, de processus industriels, etc.), Dans la technique moderne, il existe deux principaux modes de chauffage : (Le chauffage décentralisé ou divisé et le chauffage central). [1]

I.1.2. Différents modes de chauffage :

a. Chauffage électrique :

Système de production de chaleur à partir de l'énergie électrique, Le fonctionnement repose sur la constatation suivante : toute pièce métallique traversée par un courant électrique s'échauffe et donc dégage de la chaleur, Ce phénomène par lequel l'énergie électrique se transforme en énergie calorifique est connu sous le nom « d'effet Joule ».

Il existe de très nombreuses techniques de chauffage électrique, on peut retenir 4 grandes catégories : les convecteurs (classiques ou soufflants), les radiants ou radiateurs (dans lesquels on retrouve, les radiants classiques, les radiateurs à fluide caloporteur, à accumulation, à infrarouge, à infrarouge lointain, ...), les planchers chauffants électriques et les chaudières électriques, Le principal avantage de ce type de système est un rendement qui avoisine les 100% ,(On paye 1kWh d'électricité, on récupère 1kWh de chaleur). [2]

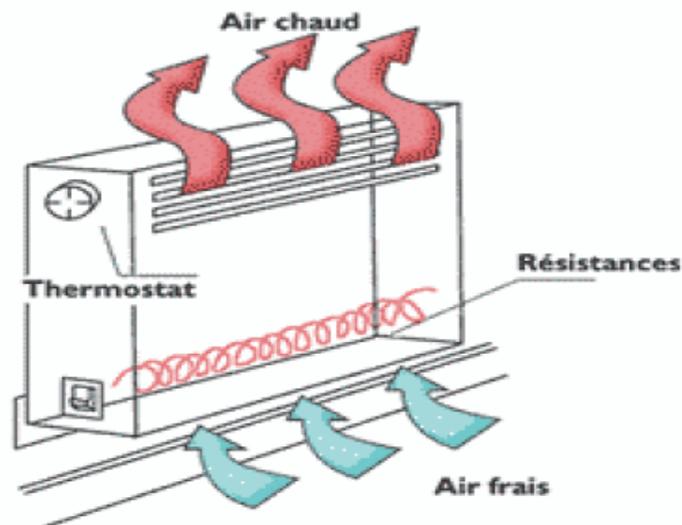


Figure I.1.1. Convecteur électrique. [3]

b. Chauffage par combustions :

Sont appelés combustibles les corps solides, liquides ou gazeux, susceptibles de produire, en unissant à l'oxygène, une réaction chimique vive appelée combustion qui s'accompagne d'un dégagement de chaleur, Les combustibles courants contiennent du carbone et des composés de carbone et d'hydrogène.



Figure I.1.2. Exemple Combustion par houille. [4]

• Combustibles solides :

La houille est pratiquement seul combustible solide utilisé dans les chaufferies industrielles Les agglomérés de toute nature sont employés dans les appareils de chauffage individuels Et l'anthracite dans les chauffages d'immeubles.

• Combustibles liquides :

Les Combustibles liquides utilisées en général dans les installations de chauffage et chaufferies industrielles sont des produits provenant de la distillation fractionnée du pétrole brut, On les désigne indistinctement par les termes « mazout » ou «fuel-oil » ou plus simplement « fuel » Ce sont des hydrocarbures.

• Combustibles gazeux :

Les combustibles gazeux utilisés dans l'industrie et les installations de chauffage soit de produits manufacturés, soit des gaz naturels, soit des produits de dégagement au cours des opérations de raffinage du pétrole brut, Les gaz provenant des hauts fourneaux sont également combustibles mais leur pouvoir calorifique est faible ,Ils sont utilisés sur place.

c. Chauffage Solaire :

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil dans son rayonnement, direct ou diffus. Sur Terre Grâce à divers procédés elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse, Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir de cette dernière.



Figure I.1.3. Exemple de chauffage solaire. [5]

• Énergie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque.

• Énergie solaire thermique :

Le solaire thermique consiste à utiliser le rayonnement solaire en le transformant en énergie thermique ; Il se présente de différentes façons : centrales solaires thermodynamiques, chauffe-eau et chauffage solaires, rafraîchissement solaire, cuisinières et sècheurs solaires, La production de cette énergie peut être soit utilisée directement (pour chauffer un bâtiment par exemple) ou indirectement (comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir une énergie électrique).

• Capteurs solaires :

Un capteur solaire est défini comme tout système recevant l'énergie solaire est la transformant en une énergie utile.

• Types de capteurs solaires ;

Il existe non seulement plusieurs manières différentes de fournir de l'énergie solaire, mais également différentes méthodes pour capter l'énergie solaire provenant d'un rayonnement incident, Principalement il y a deux types de capteurs solaires : Les capteurs solaires photovoltaïques, Les capteurs solaires thermiques.

La liste suivante présente quelques-uns des types les plus répandus de capteurs solaires.

- Capteurs plans de types vitrés ;
- Capteurs plans sans vitrage ;
- Capteurs solaires à concentration ;
- Capteurs solaires à air (l'eau) ;
- Capteurs solaires intégrés. [2]

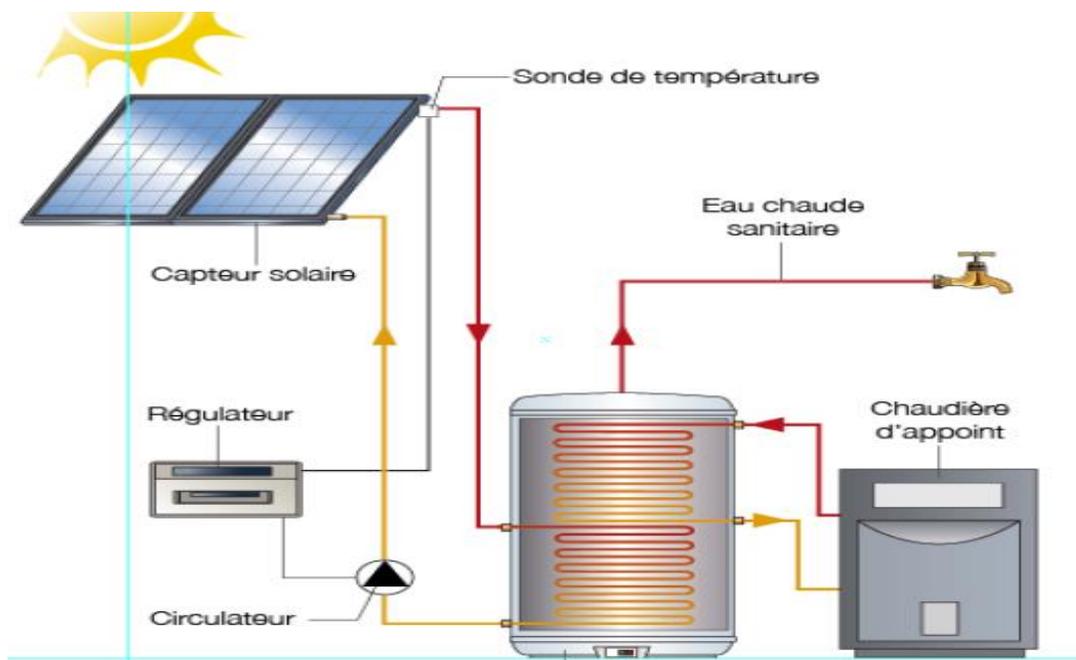


Figure I.1.4. Capteur Solaire d'eau. [6]

Chapitre 2 : Production de froid

I.2.1. Introduction :

Le froid trouve de nombreuses applications dans des domaines très variées (industries agroalimentaires, médecine, confort thermique, pétrochimie...) et c'est dans le domaine Alimentaire que le froid occupe une place prépondérante car il permet de limiter les gaspillages (pertes après récolte...).

I.2.2. Modes de production de froid et application :

La production du froid qui consiste à absorber la chaleur contenue dans un milieu peut être obtenue suivant plusieurs modes, de même les applications du froid sont très variées.

Parmi les différentes modes de production du froid, il faut retenir :

La sublimation d'un solide consiste à le faire passer de l'état solide à l'état vapeur par absorption de chaleur, le cas le plus courant est celui du CO₂ qui à la pression atmosphérique a une température de sublimation de -78.9°C .

La détente d'un gaz comprimé repose sur le principe de l'abaissement de la température d'un fluide lors de sa détente (avec ou sans travail extérieur). Cependant, cet abaissement est plus important lors de la détente sans travail extérieur (détente Joule -Thomson : étranglement à travers une vanne) mais il ne faut pas perdre de vue que le refroidissement du gaz détendu aura lieu seulement dans le cas où sa température avant la détente serait inférieure à la température d'inversion de l'effet Joule - Thomson.

La fusion d'un corps solide se fait à température constante par absorption de la chaleur latente de fusion du corps considéré, ce procédé discontinu bien que simple présente l'inconvénient de nécessiter une congélation préalable à moins que cet état ne soit disponible à l'état naturel.

Le refroidissement thermoélectrique (effet Peltier) est utilisé pour produire de très petites quantités de froid, Il consiste à faire passer un courant continu dans un thermocouple constitué de conducteurs de natures différentes reliés alternativement par des ponts de cuivre.

La vaporisation d'un liquide permet de produire du froid par l'absorption de la chaleur à travers un échangeur (évaporateur), la vapeur produite étant ultérieurement liquéfiée dans un autre échangeur (condenseur), le fluide décrit ainsi un cycle au sein d'une machine fonctionnant de manière continue.

I.2.3. Fluide frigorigène :

Le fluide frigorigène permet les échanges de chaleur dans un système frigorifique par ses changements d'état que sont l'évaporation et la condensation, Il peut se définir comme une substance chimique dont la température d'évaporation à la pression atmosphérique est inférieure à la température

ambiante, autrement dit le fluide frigorigène doit être liquide à cette ambiance. Par température ambiante, il faut comprendre l'ambiance ou le milieu à refroidir.

Ce tableau donne les températures d'évaporation (d'ébullition) de certains fluides Frigorigènes à la pression atmosphérique.

Fluide (réfrigérant)	Température d'ébullition (°C)
Eau-H ₂ O-R718	100
R11	23,3
R12	- 29,8
R22	- 40,7
R502	- 45,6
Ammoniac-NH ₃ -R717	- 33,3

Tableau I.2.1. Températures d'ébullition de quelques fluides à la pression atmosphérique. [7]

Il est important pour un fluide frigorigène (réfrigérant) d'avoir une température d'évaporation peu élevée pour que le changement d'état (passage de la phase liquide à la phase vapeur) soit réalisable, Les fluides frigorigènes obéissent à une classification qui permet une désignation précise de chaque fluide, Cette classification est effectuée sur la base de critères différents suivant la famille ou la sous famille de fluides considérés, Les fluides frigorigènes sont divisés en deux grandes familles que sont :

- Les composés inorganiques.
- Les composés organiques. [7]

I.2.4. Machines frigorifiques :

Dans les installations de climatisation la machine frigorifique permet d'évacuer vers l'extérieur la chaleur excédentaire des locaux, En pratique elle prépare de l'air froid ou de l'eau froide qui viendront compenser les apports de chaleur du soleil, des équipements de bureautique, des occupants.... de telle sorte que le bilan chaud-froid soit à l'équilibre et que la température de consigne soit maintenue dans les locaux, La machine frigorifique est basée sur la propriété des fluides frigorigènes de s'évaporer et

de se condenser à des températures différentes en fonction de la pression, Elle se compose au minimum des 4 éléments suivants : l'évaporateur, le compresseur, le condenseur et l'organe de détente. [16]

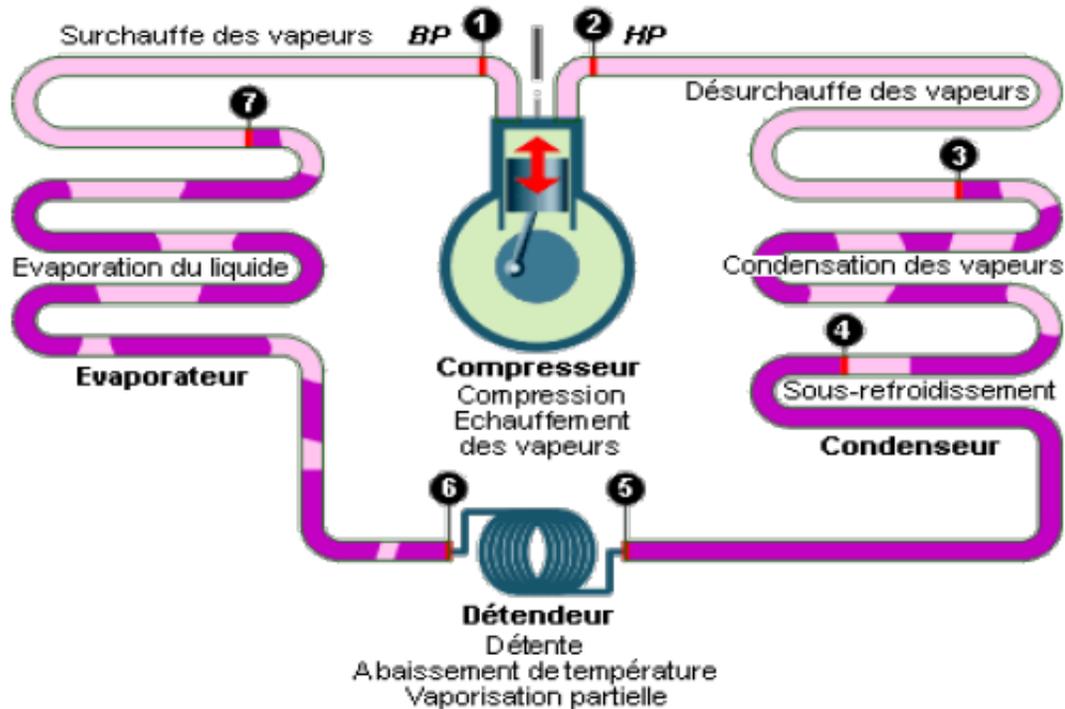


Figure I.2.1. Cycle frigorifique élémentaire. [17]

a. Evaporateur :

Le fluide frigorigène liquide entre dans l'évaporateur en ébullition et s'évapore en absorbant la chaleur du fluide extérieur, Dans un deuxième temps, le gaz formé est encore légèrement réchauffé par le fluide extérieur, c'est ce qu'on appelle la phase de surchauffe (Entre 7 et 1 Figure I.2.1). [16]

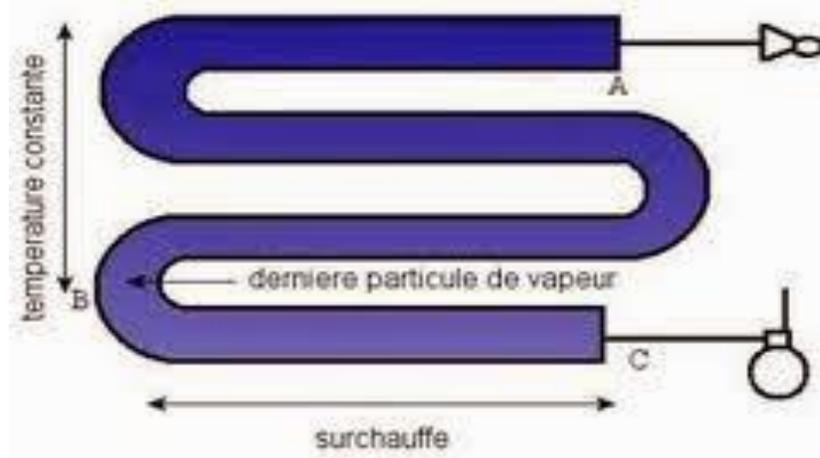


Figure I.2.2. Evaporateur. [18]

b. Compresseur :

Le compresseur va tout d'abord aspirer le gaz frigorigène à basse pression et à basse température (1), L'énergie mécanique apportée par le compresseur va permettre d'élever la pression et la température du gaz frigorigène, Une augmentation d'enthalpie en résultera. [16]

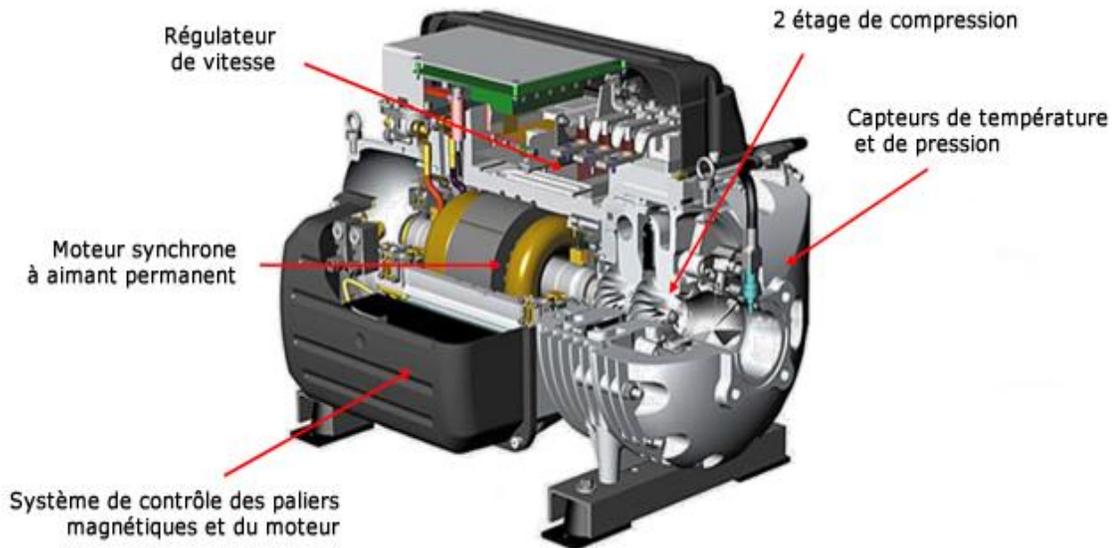


Figure I.2.3. Compresseur frigorifique. [19]

c. Condenseur :

Le gaz chaud provenant du compresseur va céder sa chaleur au fluide extérieur, Les vapeurs de fluide frigorigène se refroidissent ("désurchauffent") avant l'apparition de la première goutte de liquide (point 3 Figure I.2.1) ; Puis la condensation s'effectue jusqu'à la disparition de la dernière bulle de vapeur (point 4 Figure I.2.1), Le fluide liquide peut alors se refroidir de quelques degrés (sous refroidissement) avant de quitter le condenseur. [16]

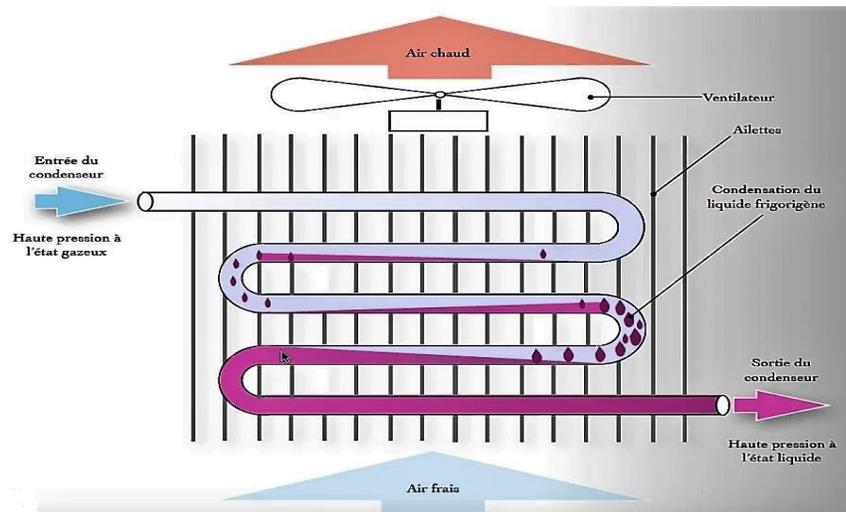


Figure I.2.4. Condenseur. [20]

d. Détendeur :

La différence de pression entre le condenseur et l'évaporateur nécessite d'insérer un dispositif "abaisseur de pression" dans le circuit, C'est le rôle du détendeur, Le fluide frigorigène se vaporise partiellement dans le détendeur pour abaisser sa température. [16]

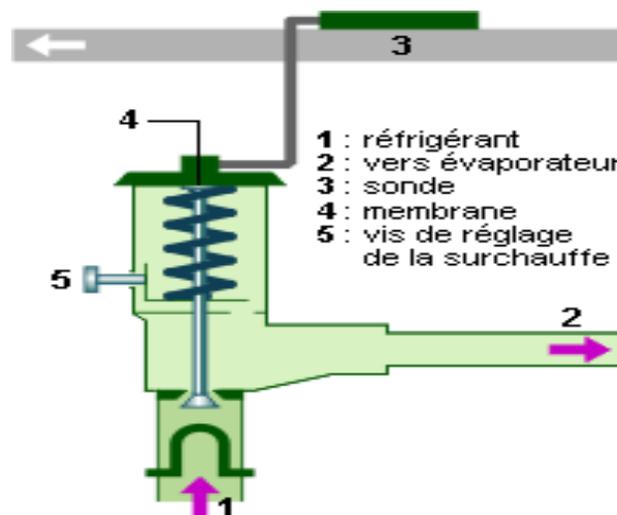


Figure I.2.5. Détendeur. [21]

I.2.5. Machines à absorption :

Le principe de fonctionnement des machines frigorifiques à absorption comprend également quatre composants principaux :

- L'évaporateur ;
- L'absorbeur ;
- Le concentrateur ;
- Le condenseur ;

Dans l'évaporateur de l'eau est utilisée comme réfrigérant et pulvérisée dans une ambiance à très faible pression, L'évaporateur est parcouru par un circuit à eau, En s'évaporant, le réfrigérant soustrait sa chaleur à cette eau qui est ainsi refroidie, C'est cette eau qui alimente le circuit de climatisation du bâtiment qui y est raccordé.

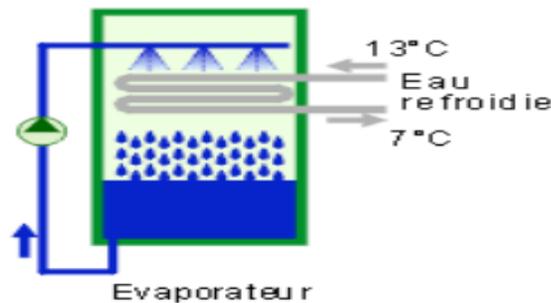


Figure I.2.6. Evaporateur.

La vapeur d'eau créée dans l'évaporateur est amené à l'absorbeur, Il contient la solution absorbante (bromure de lithium) qui est continuellement pompée dans le fond du récipient pour y être pulvérisée, Le bromure de lithium absorbe la vapeur d'eau hors de l'évaporateur et y maintient ainsi la basse pression nécessaire à vaporisation du réfrigérant.

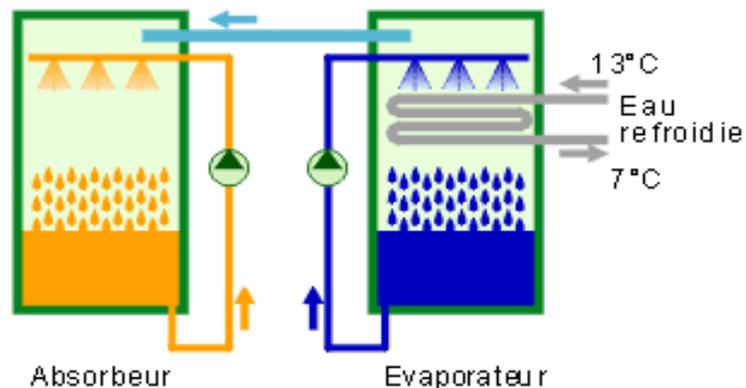


Figure I.2.7. L'évaporateur est amené à l'absorbeur.

Au fur et à mesure qu'elle absorbe la vapeur d'eau, la solution absorbante est de plus en plus diluée, La solution est régénérée dans le concentrateur, Elle est réchauffée, par une batterie à eau chaude (c'est là que se situe le besoin de chaleur qui peut être apporté par un réseau de chaleur) et une partie de l'eau s'évapore, La solution régénérée retourne à l'absorbeur.

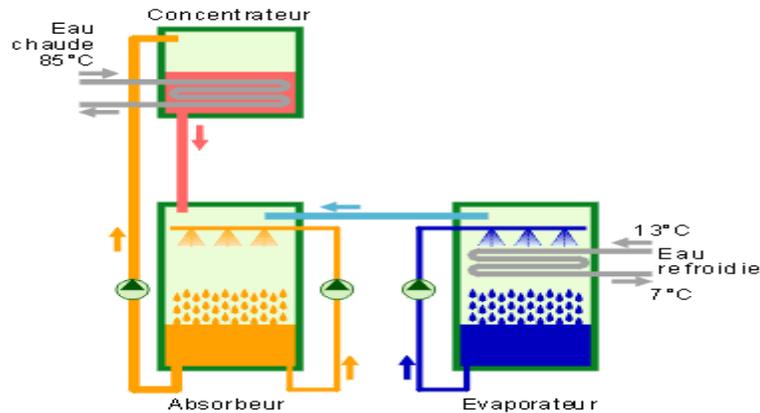


Figure I.2.8. Mesure de la vapeur d'eau.

Enfin, la vapeur d'eau extraite du concentrateur est injectée dans le condenseur, où elle est refroidie par une circulation d'eau froide, C'est là que se situe le besoin en eau froide qui peut être soit de l'eau de nappe, soit de l'eau refroidie dans une tour aéroréfrigérante, L'eau condensée retourne à l'évaporateur.

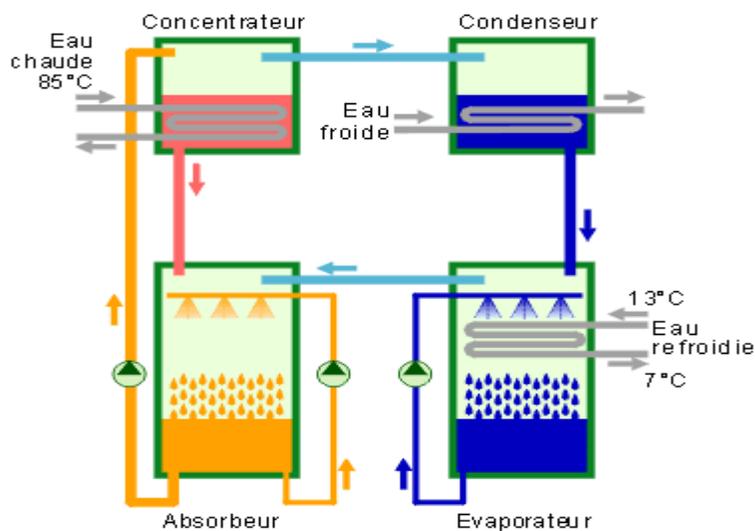


Figure I.2.9. Condenseur.

Les machines à absorption ont deux avantages pour les services de distribution d'énergie calorifique :

- Elles permettent de mettre en place une offre de fourniture de froid à partir d'un réseau de chaleur existant sans nécessité de mise en œuvre d'un réseau de distribution spécifique.

➤ Elles permettent la valorisation d'énergie thermique excédentaire et/ou fatale (cas de la récupération sur process industriel ou sur usine d'incinération, où la chaleur produite en été est souvent peu ou pas valorisée) ; cela peut également permettre d'optimiser une installation de cogénération (à partir de moteur ou de turbine à gaz), qui devient ainsi un tri génération. [22]

I.2.6. Pompe à chaleur (PAC) :

Est une machine thermique permettant d'utiliser de l'énergie mécanique (pompes à compresseur) ou thermique (pompes à absorption) pour soutirer de la chaleur à basse température d'un milieu (environnement par exemple) dit "source froide" et de la restituer à une température plus élevée la rendant utilisable pour les besoins domestiques (chauffage et eau chaude).

a. Principe de fonctionnement d'une PAC :

Est similaire à celui d'un réfrigérateur avec un fluide (réfrigérant) dont le point d'ébullition sous faible pression se situe à basse température (ammoniac, fréon, butane), La PAC comporte un compresseur (mécanique ou absorption) qui comprime un gaz ; Ce gaz comprimés s'échauffe et cède sa chaleur dans un échangeur appelé condenseur ; Dans le condenseur le gaz condense en liquide, qui présente une température T_c supérieure à la température d'utilisation T_u .

Le liquide tiède est alors détendu dans une vanne de détente et peut être évaporé à une température T_e inférieure à la température T_f de la source froide, La chaleur nécessaire l'évaporation est prise à la source froide dans l'échangeur de chaleur appelé évaporateur.

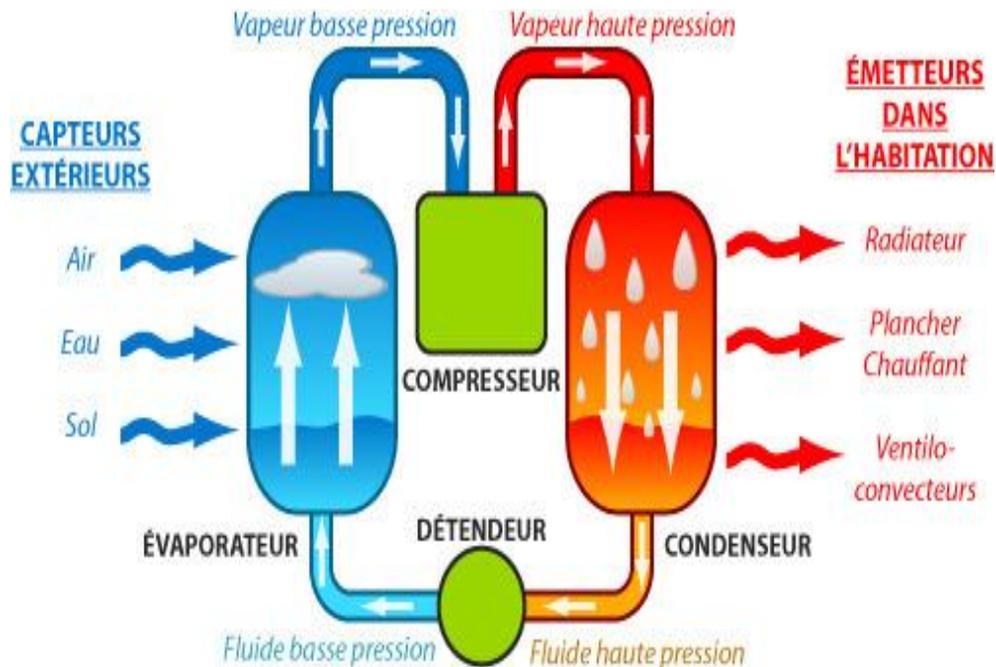


Figure I.2.10. Schéma de principe d'une pompe à chaleur en mode chauffage.

L'intérêt d'une PAC réside dans le fait qu'en fournissant une unité d'énergie mécanique on peut soutirer deux à trois unités d'énergie thermique gratuite d'une source à basse température et obtenir trois à quatre unités d'énergie thermique (chaleur) à une température suffisamment élevée pour être utilisée pour le chauffage de locaux, La pompe à chaleur peut être réversible pour fournir de la chaleur en hiver et du froid en été.

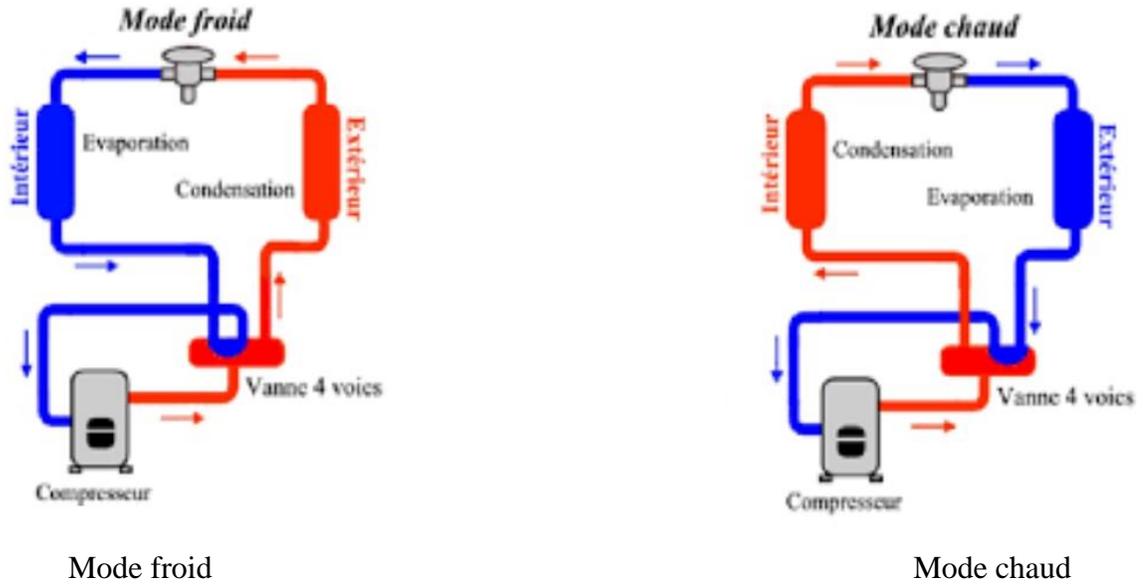


Figure I.2.11. PAC en mode froid et chaud. [23]

b. Différents types de PAC :

On peut trouver différents types de PAC sur le marché, Il existe trois types de PAC :

- **Géothermique** : l'énergie est puisée dans le sol grâce à des capteurs installés dans le sol à proximité de la maison.



Figure I.2.12. PAC Géothermique.

- **Aérothermique** : l'énergie est puisée dans l'air, Dans ce système on place une unité extérieure qui utilise l'énergie de l'air extérieur.

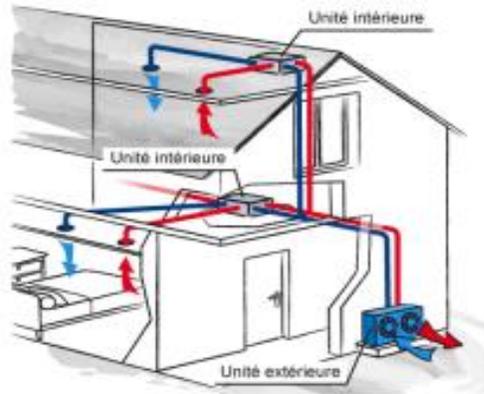


Figure I.2.13. PAC Aérothermique.

- **Hydrothermique** : l'énergie est puisée dans l'eau (nappes phréatiques ou cours d'eau), On utilise des réservoirs et des puits de forage pour utiliser l'eau dans la PAC.



Figure I.2.14. PAC Hydrothermique. [24]

c. Types des unités (PAC) :

On distingue trois types d'unités en fonction de la nature des milieux concernés par l'échange thermique, air ou eau :

- **Unités Air/Air :**

Dans ces unités les deux milieux concernés par l'échange thermique sont l'air, La chaleur est puisée dans de l'air frais à travers l'évaporateur pour être rejetée dans de l'air chaud à travers le condenseur, Ce type d'unité est le plus utilisé et constitue l'essentiel des unités autonomes de climatisation en froid seul ou chaud/froid réversible :

➤ Unité individuelle de climatisation (froid seul ou chaud/froid) : monobloc, split système, multi-split, etc.

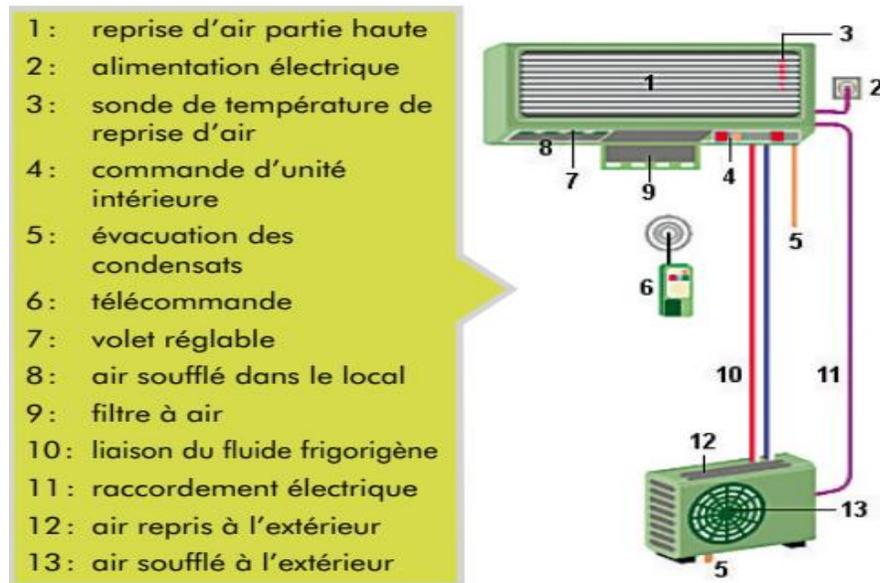


Figure I.2.15. Unité extérieure et intérieure d'un climatiseur individuel. [23]

➤ Unité autonome de climatisation (froid seul ou chaud/ froid) : roof-top, armoire de climatisation, etc.

• Unités Air/Eau (Eau/Eau) :

Dans ces unités les deux milieux concernés par l'échange thermique sont l'air et l'eau ou (l'eau et l'eau), dans le cas d'une production centralisée l'eau circulant dans l'installation de climatisation est soit refroidie, soit chauffée, En mode refroidissement la chaleur est puisée dans l'eau entrant dans l'unité pour baisser sa température à travers l'évaporateur, Cette chaleur est ensuite rejetée dans de l'air à travers le condenseur, En mode chauffage le condenseur et l'évaporateur permutent leurs fonctions.

d. Performance énergétique d'une pompe à chaleur :

Dans le cas d'une PAC (réversible ou non), on ne peut pas parler de rendement, car la définition de ce dernier stipule qu'il doit être inférieur à 1, Cependant le « rendement » d'une PAC est supérieur à 1 donc par convention, on l'appelle coefficient de performance, souvent abrégé COP.

Il correspond à l'équation :
$$COP = \frac{\text{énergie restituée}}{\text{énergie consommée}} \quad (I.2.1)$$

Les performances énergétiques minimales des installations de climatisations sont données :

• **Mode chauffage :**

Lorsque la PAC fonctionne en mode chauffage l'énergie restituée correspond à : (Q_{chaud} , chaleur reçue par le réservoir froid) et l'énergie consommée correspond à : $Q_{chaud} - Q_{froid}$ avec (Q_{froid} , chaleur fournie par le réservoir froid).

Ainsi :
$$Q_{chauffage} = \frac{Q_{chaud}}{Q_{chaud} - Q_{froid}} \quad (I.2.2)$$

Prenons le cas où la PAC est idéale, c'est-à-dire que l'efficacité correspond à l'efficacité de Carnot,

on a :
$$\frac{Q_{chaud}}{T_{chaud}} = \frac{Q_{froid}}{T_{froid}} \Rightarrow Q_{froid} = Q_{chaud} \times \frac{T_{froid}}{T_{chaud}} \quad (I.2.3)$$

On remplace et on obtient :
$$COP_{chauffage} = \frac{T_{chaud}}{T_{chaud} - T_{froid}} \quad (I.2.4)$$

• **Mode refroidissement :**

On raisonne exactement de la même façon, mais avec l'énergie thermique restituée qui correspond à Q_{froid} et l'énergie thermique consommée correspond à $Q_{froid} - Q_{chaud}$.

Ainsi on obtient :
$$COP_{refroidissement} = \frac{T_{froid}}{T_{froid} - T_{chaud}} \quad [25] \quad (I.2.5)$$

e. Avantages et inconvénients d'une PAC :

• **Les avantages :**

- Une faible consommation d'énergie ;
- Un grand confort d'utilisation ;
- La facilité d'installation ;
- Un impact environnemental minime ;
- Un seul appareil pour tous les besoins ;
- La PAC est éligible aux aides financières ;

• **Les inconvénients :**

- Le niveau sonore de l'unité extérieure ;
- Des performances qui varient en fonction de la température ;
- Trouver l'emplacement idéal pour l'unité extérieure ;
- Le coût. [26]

Chapitre 3 : Isolation thermique

I.3.1. Définition :

Terme utilisé pour décrire le processus de réduction du transfert de chaleur à travers un système ou pour décrire le composant ou système qui est performant pour cette fonction, L'isolation thermique peut être réalisée à l'aide d'un matériau, d'un produit ou d'un système isolant (association de deux ou plusieurs composants dont l'un au moins est un produit ou un matériau isolant), qui réduit par sa présence le transfert de chaleur à travers la paroi sur ou dans laquelle il est placé, Il est caractérisé par sa résistance thermique (exprimée en $m^2.K.W^{-1}$).

I.3.2. Domaine d'application :

Les isolants thermiques faisant l'objet de cet article sont utilisés à des températures situées autour de la température ambiante, domaine que nous situerons conventionnellement entre (- 20 et 80°C).

Les secteurs d'application de l'isolation thermique peuvent être très divers (le bâtiment l'industrie, l'isolation des routes, la confection des vêtements, etc...), Le secteur privilégié reste néanmoins le bâtiment (neuf et réhabilitation) : l'enveloppe et les installations afférentes, le conditionnement de l'air, le chauffage, Le domaine d'application peut s'étendre facilement à la réfrigération et à la cryogénie (basses et très basses températures), ainsi qu'à l'industrie (hautes et très hautes températures), les lois de fonctionnement des isolants restent les mêmes , Cette extension dépend uniquement de la nature des isolants en relation avec leur température limite d'emploi. [8]

I.3.3. Différents types d'isolation :

En réhabilitation, il est possible d'isoler un bâtiment soit à l'intérieur soit à l'extérieur de la structure porteuse (Figure I.3.1) Impliquant bien souvent des modifications d'aspect de l'habitat.

➤ L'isolation par l'extérieur se révèle être la solution la plus performante, Cette solution permet de limiter les ponts thermiques et de bénéficier de l'inertie apportée par la masse des parois, pour finir aucune réfection des équipements intérieurs n'est nécessaire et les habitants peuvent continuer d'utiliser le bâtiment hors des travaux.

➤ L'isolation par l'intérieur, quant à elle est une alternative intéressante, En effet bien qu'elle puisse légèrement empiéter sur la périphérie des pièces, Cette solution est rapide et facile à mettre en œuvre. [9]

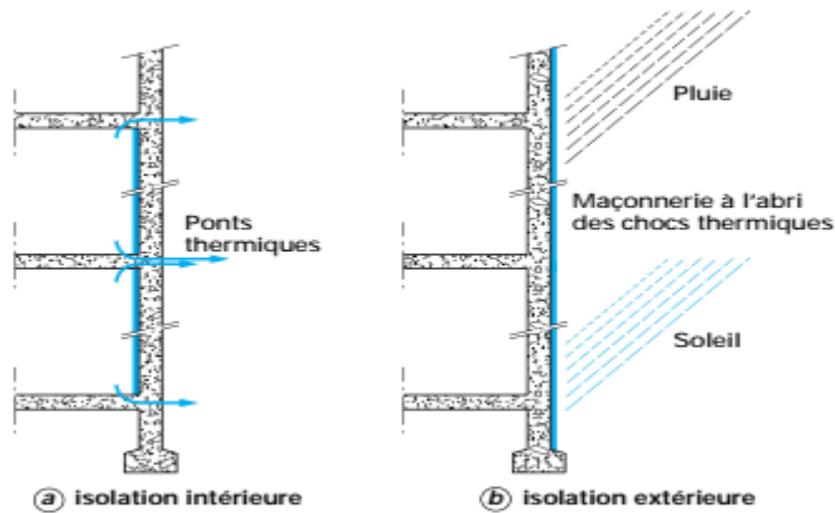


Figure I.3.1. Isolation intérieure et extérieure. [10]

I.3.4. Classification des matériaux poreux et des isolants :

Le critère de classification des isolants généralement retenu repose sur la structure de leur matrice solide et sur la nature chimique de la substance qui la constitue : isolants fibreux, cellulaires et granulaires de nature minérale et organique.

• Isolants fibreux :

Les isolants fibreux minéraux sont manufacturés à partir de matières amorphes fondues : roche (basalte en particulier), verre, silice vitreuse et oxydes métalliques, Les principaux représentants sont les laines minérales et les isolants en fibres céramiques (silice-alumine).

Les isolants fibreux organiques peuvent être d'origine naturelle, comme les fibres ou laine de bois (Figure I.3.2), la laine animale (mouton) ou manufacturés à partir de matières plastiques comme les fibres de polyester.



Figure I.3.2. Fibre de bois. [11]

• Isolants cellulaires :

Ce sont les matériaux poreux à matrice solide consolidée contenant des cellules fermées ou ouvertes ou partiellement ouvertes, contenant de l'air ou un autre gaz ayant servi à l'expansion du matériau initial.

Parmi les isolants cellulaires d'origine minérale, les plus répandus sont le béton cellulaire léger et le verre cellulaire (Figure I.3.3), Les isolants cellulaires organiques synthétiques comme les mousses de polystyrène, de polychlorure de vinyle, de polyuréthane, de polyisocyanurate.

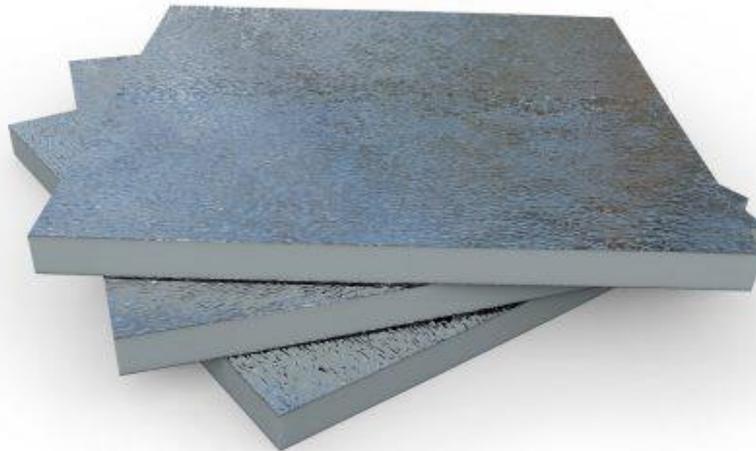


Figure I.3.3. Les plaques de verre cellulaire. [12]

• Isolants pulvérulents ou granulaires :

Ils se présentent en général en vrac, emballés dans des sacs, Leur mise en œuvre in situ se fait soit manuellement, soit à l'aide d'équipements pneumatiques, dans des espaces confinés (cavité des murs) ou ouverts (combles) qui doivent être isolés.

• Super isolants :

Ce sont des matériaux manufacturés c'est-à-dire des matériaux microporeux de type cellulaire comme des plaques aérogel de silice monolithique, ou pulvérulents, comme les poudres aérogel ou les poudres ultrafines (nanomatériaux) de silice, On peut les obtenir également à partir d'isolants en poudre ou en fibre, sous vide, confinés dans un espace étanche, L'utilisation de ces matériaux isolants initialement prévue pour des applications spéciales (cryogénie, espace, génie nucléaire, etc.) Commence à gagner le domaine du bâtiment. [13]

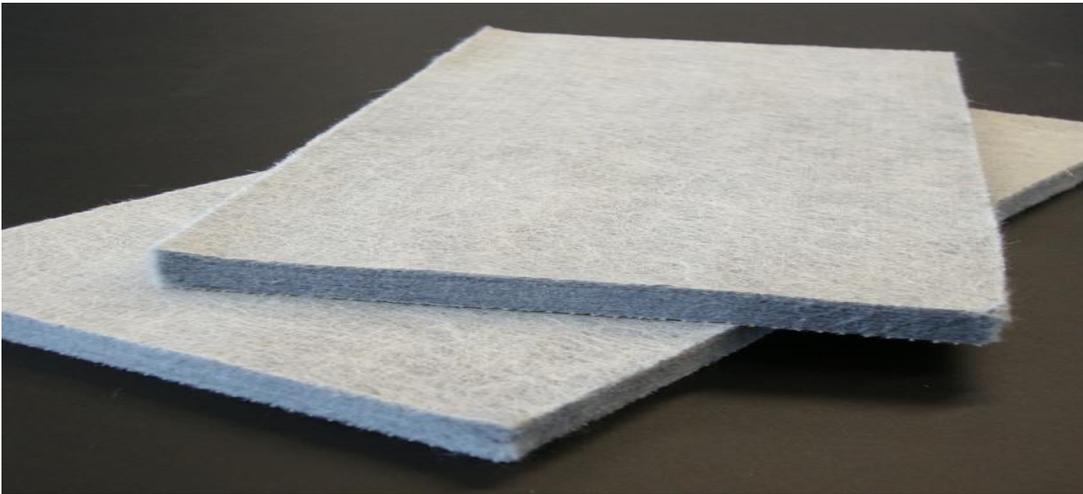


Figure I.3.4. Plaques aérogels. [14]

I.3.5. Choix de l'isolant :

Choisir un isolant implique de considérer l'ensemble des contraintes auxquelles il sera soumis, afin d'assurer son efficacité dans le temps, Le premier critère étant évidemment la température du support, on distingue les isolations froid pour lesquelles cette température est inférieure à la température ambiante et les isolations chaud pour lesquelles elle est supérieure à la température ambiante.

a. Isolation froid :

Les isolants les plus fréquemment employés sont les isolants à structure cellulaire ; existent également les isolants à structures fibreuse ou poudreuse et les super isolants.

La notion de température limite d'emploi en froid est plutôt consacrée par l'usage Théoriquement le polyuréthane, le polyisocyanurate ou les mousses phénoliques peuvent être employés au-dessous de -160°C néanmoins, on considère qu'au-dessous de la température de liquéfaction de l'oxygène -185°C , il n'est pas recommandé d'employer des isolants organiques ; le seul qui subsiste est le verre cellulaire.

b. Isolation chaud :

Le domaine de l'isolation chaud ne dépasse guère 600°C ; toutefois cette limite peut être considérablement relevée et atteindre des températures de l'ordre de 1200°C à 1300°C qui, normalement, sont du domaine de la fumisterie.

Il est nécessaire de rappeler quelques caractéristiques fondamentales des matériaux isolants pour isolation chaud, D'après leur constitution physique ils se divisent en deux grandes catégories : les isolants solides et les isolants fibreux, La première appellation peut, à première vue, paraître étrange, et

elle ne se justifie d'ailleurs que par opposition à la seconde ; néanmoins, elle groupe un ensemble de produits ayant des caractéristiques thermiques voisines et des propriétés mécaniques semblables.

I.3.6. Choix de la protection de l'isolation :

De la valeur de la protection de l'isolation dépend son efficacité dans le temps ; le choix de cette protection est donc essentiellement fonctionnel et découle à la fois du type de l'installation et de son exposition aux intempéries et aux chocs.

Hormis l'isolation des circuits de chauffage pour « le bâtiment », les protections sommaires, à base de toile enduite de plâtre, de carton bitumé, de toile imprégnée d'émulsion bitume ou de feuilles PVC, ne sont plus en usage dans l'industrie.

Au nombre des protections réellement industrielles, nous citerons particulièrement les chapes en ciment, les revêtements en tôle et en plastique. [15]

PARTIE II

Processus de traitement d'air

Chapitre 1 : Description de centrale de traitement d'air (CTA)

II.1.1. Définition :

La CTA se définit comme un ensemble de matériels a haute technologie qui a pour but de traiter l'air entrant dans les locaux d'un bâtiment a une température voulu par l'utilisateur ainsi que la Déshumidification des locaux tertiaires ou industriels, c'est un système tout air à débit constant ou variable, La CTA donne des avantages considérables quant à son utilisation Économique et environnementale.

Une CTA est soit de type monobloc, soit elle est constituée de modules additionnés les uns aux autres, suivant la configuration matériels, modules ventilation, module batteries froides et chaudes, module filtres, etc...

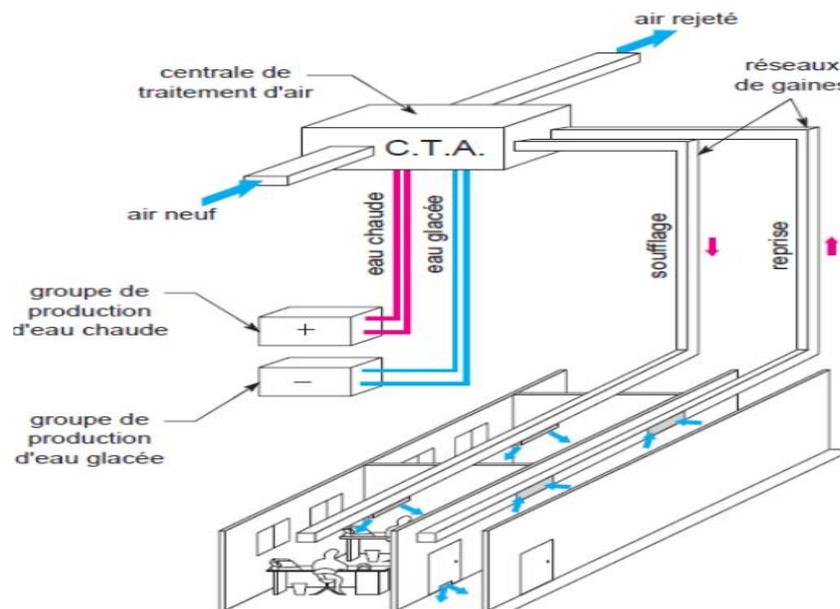


Figure II.1.1. Installation de la CTA.

II.1.2. Domaines d'applications :

La CTA peut être utilisée seulement pour ventiler, seulement pour chauffer ou rafraichir, ou les deux. Ce système est particulièrement bien adapté, voir incontournable pour le chauffage et le rafraichissement des grands volumes, dans lesquels on veut maintenir de très bonnes conditions de température, été comme hiver :

- Les salles polyvalentes à dominante culturelle ou sportive ;
- Les supermarchés et les hypermarchés ;
- Dans les locaux à forte occupation intermittente : les salles recevant du public cinémas

, salles de spectacles), les amphithéâtres et les auditoriums, et pour des applications spécifiques ;

- Les halls de stockage pour des produits alimentaires ou les matières premières ;
- Les ateliers de haute technologie (salles blanches) ;
- Les locaux techniques (salles serveurs) ;
- Les piscines ;
- Les hôpitaux et blocs opératoires ; [27]

II.1.3. Rôle d'une CTA :

La centrale de traitement d'air (CTA) est un équipement destiné à :

- Ventiler par l'introduction d'air neuf et l'extraction d'air vicié ;
- Filtrer l'air ;
- Chauffer par soufflage d'air chaud ;
- Rafraîchir par soufflage d'air froid ;
- Échanger les calories entre 2 flux d'air ;
- Déshumidifier par condensation de la vapeur d'eau ;
- Humidifier par vaporisation d'eau ;
- Purifier à l'aide de lampe UV.

L'air traité sera ensuite diffusé dans les locaux desservis grâce à des réseaux de conduits, de matière, formes et section adaptées avec des diffuseurs choisis en fonction des critères de confort recherchés (bouches à induction, à déplacement, gaines textiles, etc.). [28]

II.1.4. Différents Types de CTA :

La CTA existe en deux catégories :

a. CTA simple flux :

Son principe de fonctionnement est de prendre l'air extérieur, de lui faire subir un traitement (chauffer, refroidir, humidifier, purifier) et de le souffler à travers des conduites d'air vers les locaux en question.

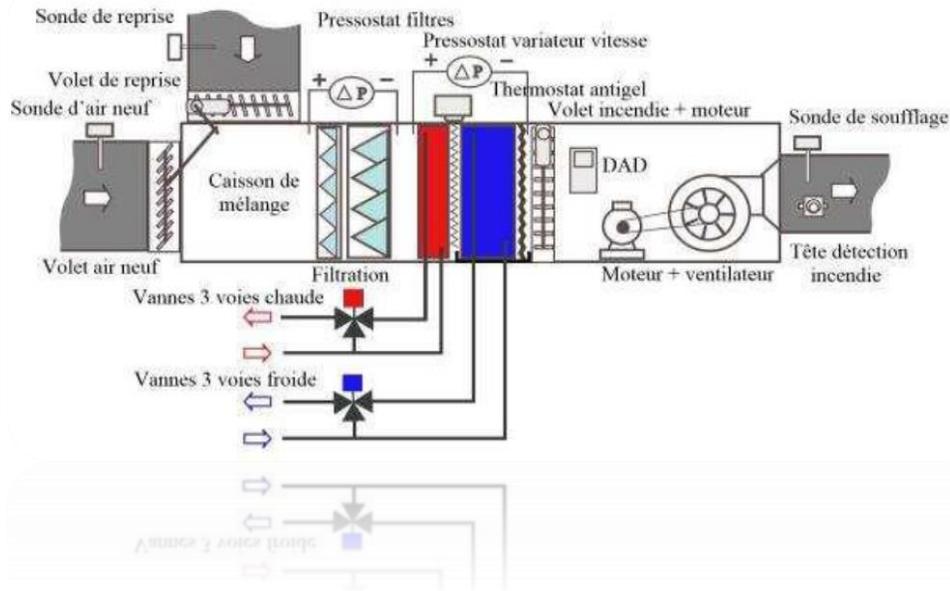


Figure II.1.2. Détails d'une centrale de traitement d'air à simple flux.

b. Centrale double flux :

Une CTA double flux peut fonctionner par :

- Recyclage partiel : une partie de l'air repris dans le local est rejeté et il est remplacé Par de l'air neuf.
- Recyclage total : sans apport d'air neuf, le traitement de l'air se fait seulement sur l'air Repris.
- Tout air neuf : Ici la centrale fonctionne tout air neuf.

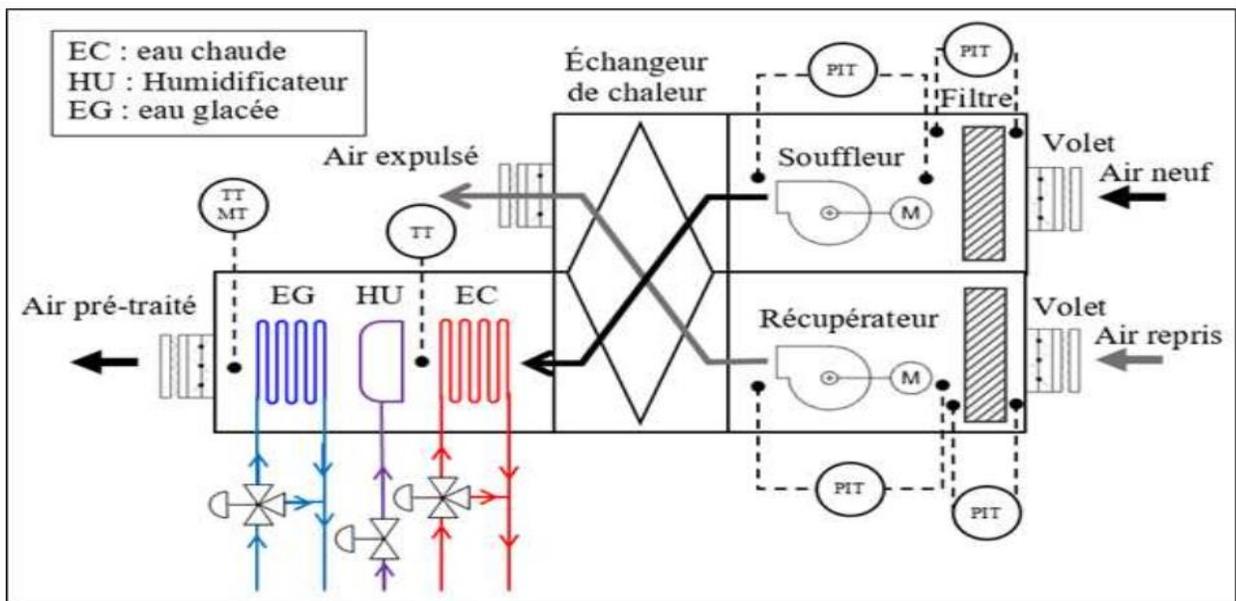


Figure II.1.3. Centrale double flux. [27]

II.1.5. Fonctionnement de CTA (général) :

Le fonctionnement de la CTA on général c'est un fonctionnement technique se traduit par la rentre de l'air neuf dans le (volet d'Air neuf) et l'air repris ce mélangeant dans la chambre de mélange (l'Air neuf avec l'Air repris) après un procède de filtration qui se déclenche, l'air filtre se transmis à une des batteries chaude ou froide tout dépend de la consigne de l'utilisation, une opération d'humidification de l'air se suive avant qu'il soit distribué dans les locaux. [30]

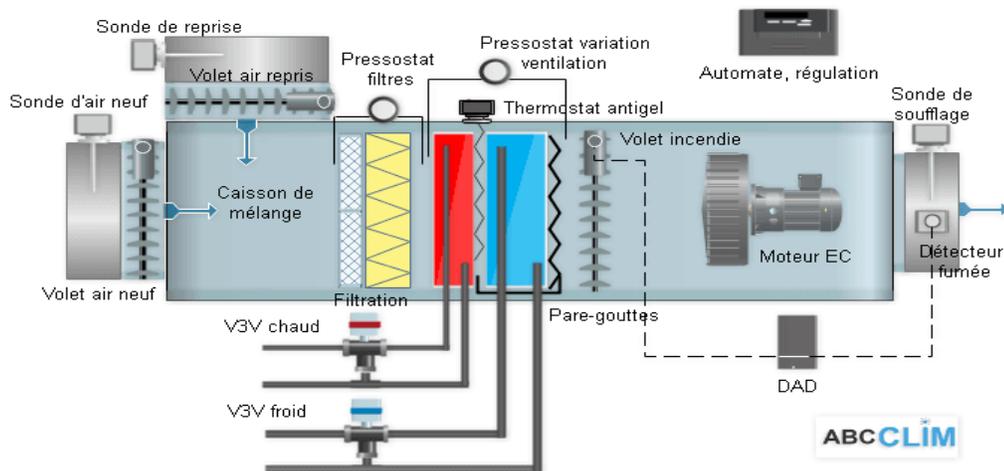


Figure II.1.4. Fonctionnement de centrale de traitement d'air (CTA). [29]

II.1.6. Rôle des divers éléments Principaux :

- **Filtration** : La filtration protège la CTA contre la poussière et les diverses particules nuisibles au fonctionnement et au confort des personnes, Il peut y avoir plusieurs niveaux de filtration de moyenne à haute efficacité.
- **Batterie chaude** : Serpentin en cuivre ou l'eau chaude circule munie d'ailettes en aluminium afin de favoriser l'échange avec l'air, l'eau et l'air circulent à contrecourant.
- **Batterie froide** : La batterie froide peut être à détente directe (fluide frigorigène) ou à eau glacée (configuration identique à la batterie eau chaude).
- **Humidificateur** : L'humidification s'effectue par ruissellement d'eau sur un matelas de fils d'acier galvanisé ou par injection de vapeur.
- **Bloc ventilateur** : Le ventilateur peut être à action ou à réaction.

a. Batteries de refroidissement et de chauffe :

La batterie chaude assure le préchauffage ou le chauffage de l'air (eau chaude, résistances blindées, à fils nus).

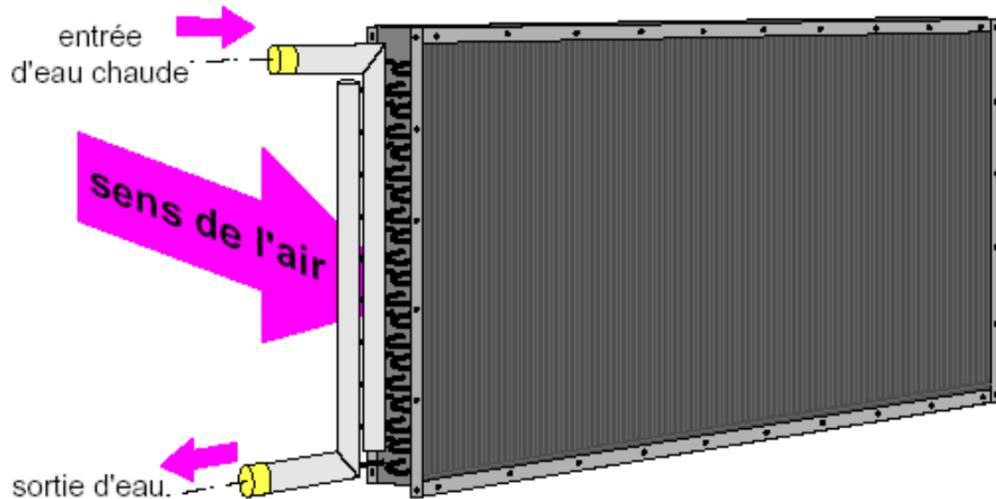


Figure II.1.5. Batterie chaude.

La batterie froide assure le refroidissement avec ou sans la déshumidification. (Eau froide ou en fluide frigorigique).

La batterie comporte un certain nombre de tubes sur lesquels sont serties ou soudées des ailettes, Les tubes constituent un certain nombre de circuits en parallèle reliés par un distributeur et un collecteur de façon à limiter la perte de charge et à augmenter l'efficacité de la batterie.

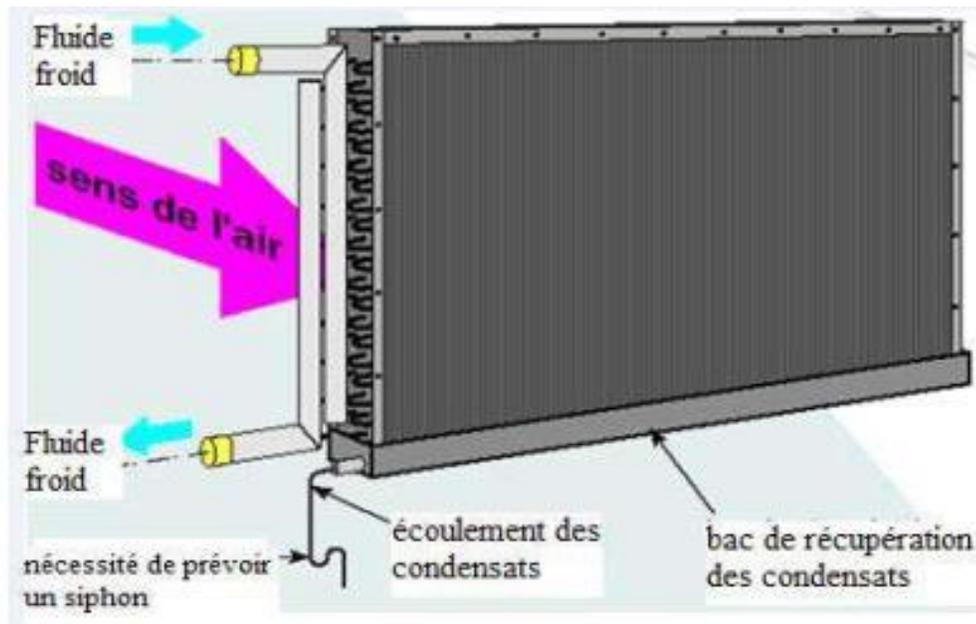


Figure II.1.6. Batterie froide. [28]

b. Humidificateurs :

L'humidification se fait par injection d'eau ou de vapeur. Le rôle des humidificateurs est d'augmenter l'humidité absolue de l'air (teneur en eau ou quantité d'eau dans l'air par kilogramme d'air sec), Les dispositifs d'humidification sont nombreux, mais on peut les regrouper selon deux grandes familles :

➤ Humidification par injection de vapeur : on injecte de la vapeur d'eau directement dans le conduit ou dans la centrale de traitement d'air.

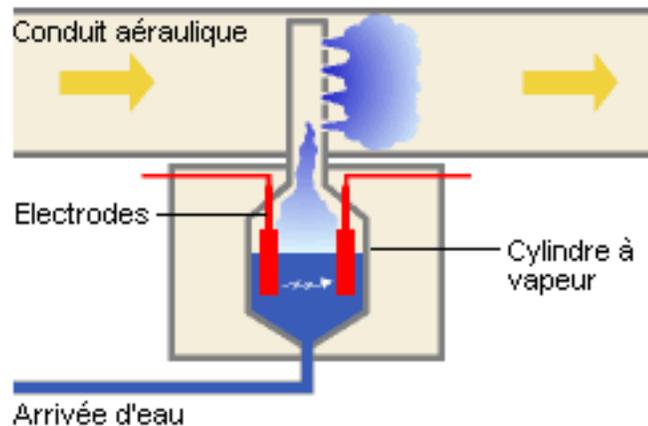


Figure II.1.7. Humidification par injection de vapeur. [37]

➤ Humidification par pulvérisation d'eau : l'eau est pulvérisée par des gicleurs dans le courant d'air ou sur une surface de ruissellement qui permettra une meilleure humidification de l'air.

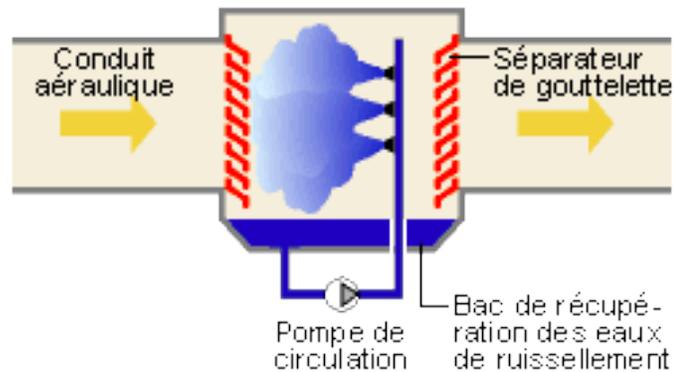


Figure II.1.8. Humidification par pulvérisation d'eau. [38]

c. Ventilateurs :

Un ventilateur est une turbomachine susceptible de créer une différence de pression (inférieure à 30000 Pa) permettant l'écoulement de l'air entre l'amont et l'aval, Le ventilateur fournit à l'air une grande partie de l'énergie mécanique qu'il reçoit sur son arbre, La perte de pression totale liée à la résistance du réseau de distribution à l'écoulement d'un débit d'air donné est appelée "**perte de charge**" du réseau. [30]

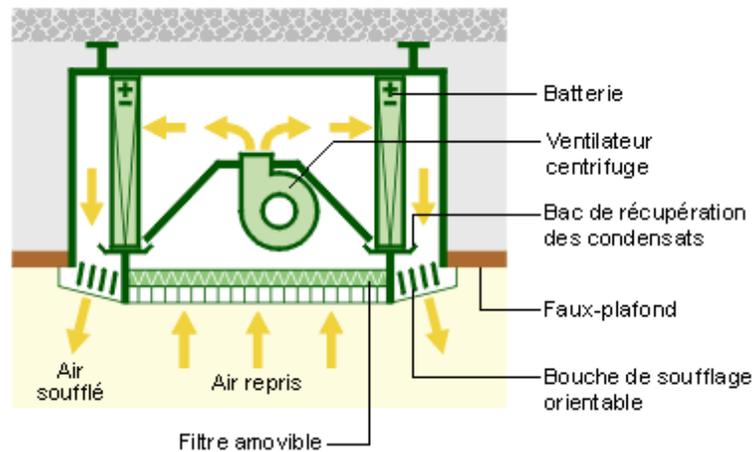


Figure II.1.9. Principe de ventilateur. [39]

d. Filtre :

Conçues pour préparer l'air neuf ou un mélange d'air neuf et recyclé avant d'être insufflé dans les réseaux de gaines et les locaux, ces centrales de traitement d'air ont pour objectif la filtration des particules, la ventilation, le chauffage, l'humidification et le refroidissement de l'air, Les filtres limitent l'encrassement des gaines d'aération et conduits aérauliques, protègent les batteries à eau chaude ou électrique, échangeurs et ventilateur de soufflage, et contribuent à l'amélioration de la qualité d'air en piégeant les particules. [31]

Les filtres présents dans les CTA :



Filtre miniplis compact



Filtre cylindre à charbon actif



Préfiltre métal plissé

Figure II.1.10. Différents types des filtres. [31]

Chapitre 2 : Appareils de régulation et mesure dans une CTA

II.2.1. Mesure de l'humidité :

Au niveau des process industriels, le réglage correct de l'humidité est souvent déterminant pour la compétitivité et la qualité des produits, Par ailleurs le bon réglage du taux d'humidité peut contribuer à diminuer sensiblement la consommation d'énergie.

La liste des domaines d'application, pour lesquels la mesure de l'humidité semble importante est très long, Il est primordial de contrôler l'humidité de l'air là où la vapeur d'eau contenue dans l'air provoque ou influence des réactions chimiques, physiques ou biologiques.

a. Grandeurs de mesure :

Il existe deux grandeurs de mesure pour quantifier l'humidité de l'air, Il convient de faire la distinction entre l'humidité relative et l'humidité absolue.

b. Procédés de mesure d'humidité et leurs applications :

Différents procédés de mesure peuvent être utilisés pour déterminer l'humidité de l'air Généralement, l'utilisateur choisit la méthode la mieux adaptée aux conditions de mesure, Bien souvent, il est possible d'obtenir une bonne précision de mesure (ou une précision satisfaisant aux conditions requises) avec un dispositif de mesure simple, mais bien adapté, A titre indicatif, les procédés de mesure d'humidité les plus connus et les plus courants sont décrits ci-après :

• Mesure psychrométrique :

Ce procédé permet de déterminer directement l'humidité relative, Il est basé sur le principe de l'échange thermique, L'élément sensible de l'un des deux thermomètres est recouvert d'une gaze humidifiée avec de l'eau distillée, Si l'air est saturé d'humidité, les deux thermomètres indiquent la même température (température de rosée) ; L'évaporation de l'eau de la gaze dans l'air provoque un refroidissement jusqu'à une valeur d'équilibre appelée température humide, L'autre thermomètre mesure la température de l'air, appelée par opposition température sèche.

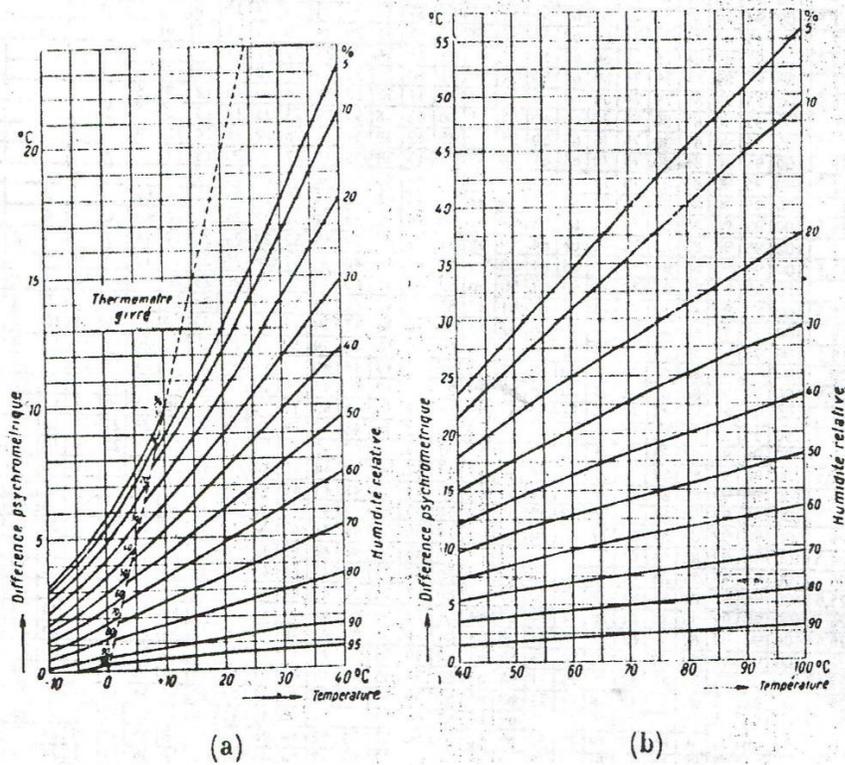


Figure II.2.1. Humidité relative de l'air en fonction de la température et de la différence psychrométrique.

Lecture du thermomètre à bulbe humide								Lecture du thermomètre à bulbe sec
C	0	2	3	4.5	6	7.5	8	
10	100	76	65	49	34	19	14	
15	100	80	70	56	43	31	27	
20	100	82	75	62	51	40	37	
25	100	85	77	67	57	47	44	
30	100	86	79	70	61	52	50	
35	100	87	81	72	64	56	54	
40	100	88	82	74	67	60	57	

Tableau II.2.1. Différence entre les thermomètres sec et humide.

- **Le psychromètre :**

Se compose essentiellement de deux thermomètres indépendants, l'un étant utilisé comme thermomètre de température sèche et l'autre comme thermomètre de température humide. [32]

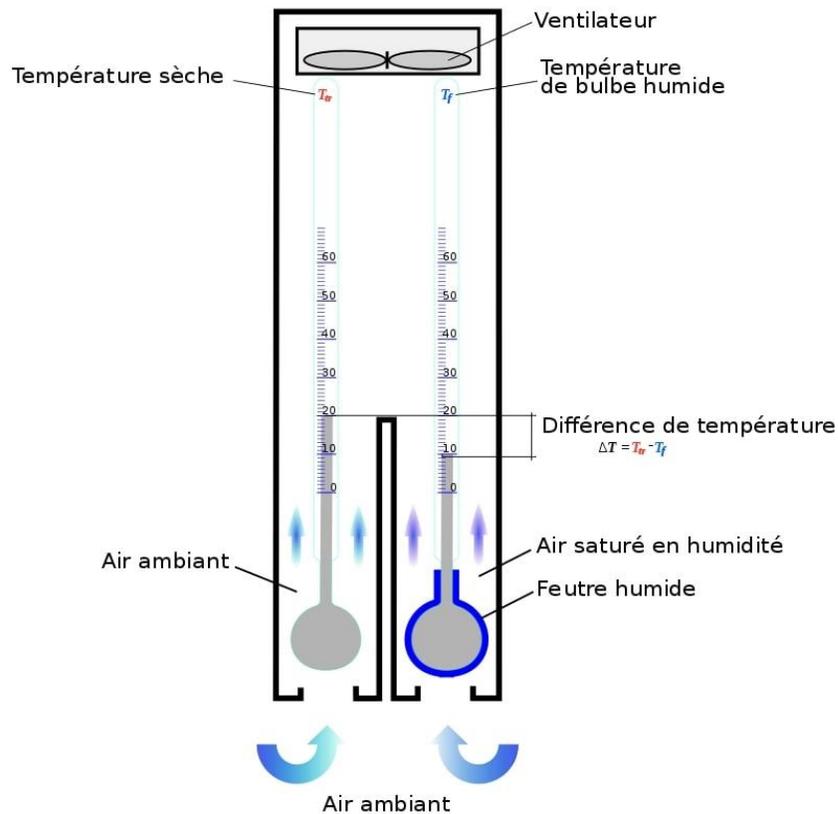


Figure II.2.2. Psychromètre. [33]

- **Mesure capacitive :**

Le procédé de mesure capacitive est basé sur le principe de la condensation, La fonction du capteur d'humidité se base sur la variation de la capacité d'un film polymère Très fin lors d'absorption ou de résorbions de molécule d'eau.

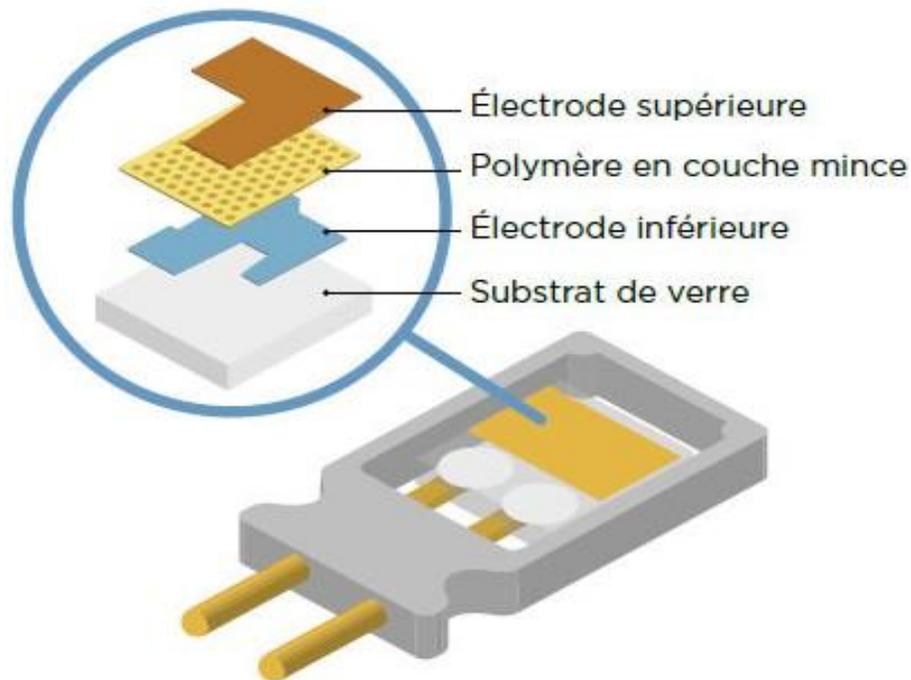


Figure II.2.3. Structure de l'hygromètre capacitif. [34]

• **Mesure hygrométrique :**

Le principe hygrométrique consiste à exploiter les propriétés particulières des fibres hygroscopiques pour déterminer l'humidité. Lorsque l'on expose ces fibres à l'air ambiant, il se produit après un temps de compensation des variations de longueur en fonction de l'humidité de l'air qui sont mesurables. [32]

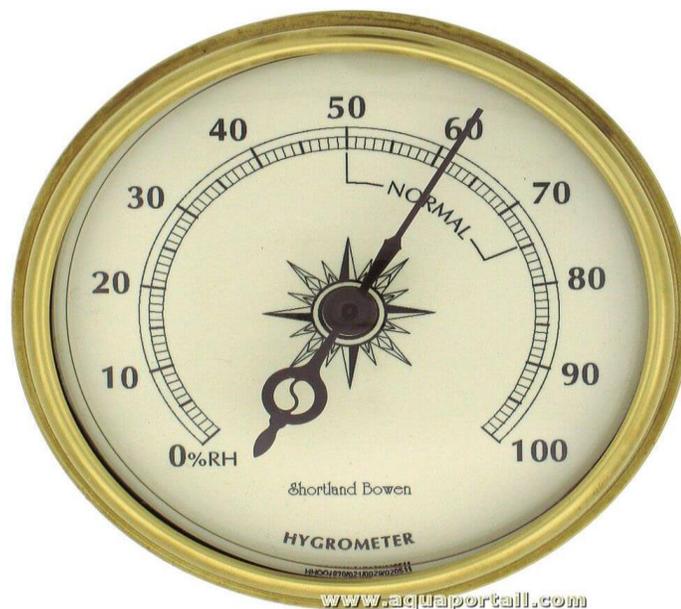


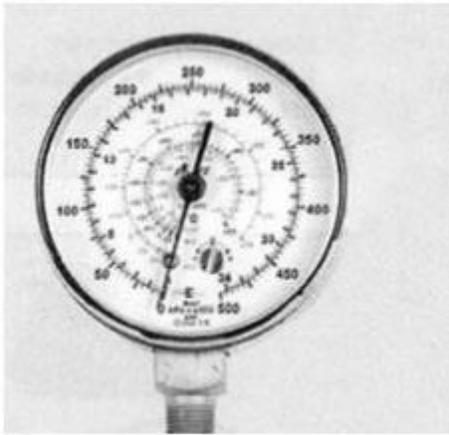
Figure II.2.4. Hygromètre. [35]

II.2.2. Mesure des pressions :

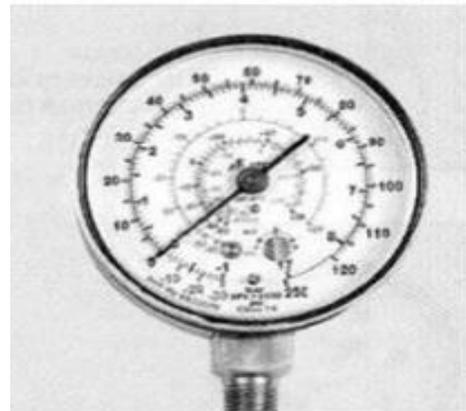
Les pressions sont mesurées sur les circuits frigorifiques, les circuits hydrauliques et les circuits aérauliques.

a. Mesure de pressions dans les circuits frigorifiques :

Les manomètres équipant les circuits frigorifiques sont particuliers en ce sens qu'ils mesurent La pression d'un fluide saturant, Les fluides saturants ont la caractéristique d'avoir une relation pression-température précise ; Ces manomètres comportent donc une échelle « pression » et des échelles « températures » correspondant aux différents fluides frigorigènes acceptés par ce manomètre.



Manomètre haute pression



Manomètre basse pression

Figure II.2.5. Manomètres (haute et basse pression) pour installation frigorifique. [36]

Ces manomètres comportent deux échelles de pression, l'une graduée en pound square inch (psi), l'autre en bar et 3 échelles de température correspondant à différents fluides, Les installations frigorifiques classiques fonctionnent avec 2 pressions différentes qui sont la basse pression et la haute pression, ces pressions sont mesurées par un manomètre BP et par un manomètre HP.

(Figure II.2.5).

• Pressions en hydraulique :

Ces manomètres effectuant des mesures sur des liquides ne comportent qu'une échelle De pression (Figure II.2.6), L'origine de l'échelle est 0 (pression atmosphérique normale).



Figure II.2.6. Exemple de manomètre pour liquide.

• **Pression en aéraulique :**

Les pressions en aérauliques étant faibles, les appareils de mesure sont spécifiques, L'ensemble le plus connu permettant la mesure des pressions est le tube de Pitot associé au manomètre à colonne de liquide (Figure II.2.7).

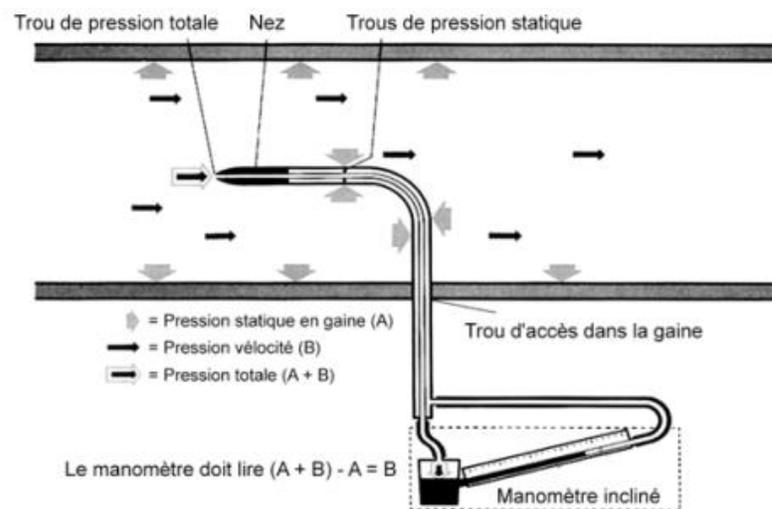


Figure II.2.7. Exemple de mesure de pression à l'aide d'un tube de Pitot associé à un manomètre à colonne de liquide. [36]

PARTIE III

Principes généraux en climatisation

III. Introduction :

En conditionnement d'air il est nécessaire de faire la distinction entre le conditionnement d'air industriel et le conditionnement d'air de confort (climatisation), Le premier cas net entre évidence un intervalle extrême étendu d'une part des humidités relatives qui descendent jusqu'à 10% (Stockage des roulements) et s'élèvent jusqu'à 85%(tissage des tectites, découpage des feuille de tabac etc...), D'autre part des températures sèches allant jusqu'à 15°C (chocolaterie +horlogerie etc...) à plus de 50°C (stockage de roulements) et jusqu' à 150°C pour le séchage.

Le seconde cas concerne le confort (bien être des êtres humains), dans ce cas les installations de climatisation doivent pouvoir non seulement maintenir constante une température sèche et une humidité susceptible d'assurer en été comme en hiver les conditions de confort pour les êtres humains, mais aussi pour éliminer les poussières et les impuretés de l'air tout en maintenant un mouvement uniforme de l'air dans les locaux (sans tourbillons néfastes), Il est essentiel d'assurer à l'organisme humain les échanges thermique sans pour autant le fatiguer en lui imposant des efforts démesurer les facteurs importants qui influencent la sensation du bien-être de l'être humain sont:

- La température sèche de l'air ambiant ;
- L'humidité relative de l'air ;
- La pression de l'air ;
- Le mouvement de l'air (Vitesse, sens de déplacement) ;
- La pureté et composition de l'air ;
- L'intensité et le niveau sonore (bruit) de l'environnement. [43]

Chapitre 1 : Air humide et sec

III.1.1. Air sec :

L'air sec (sans vapeur) de notre atmosphère est un mélange de plusieurs gaz : (Azote 78,09% ; oxygène 20,95% ; Argon 0,93%) le reste est formé de Neon, d'hélium, de crypton, d'hydrogène, de xénon d'ozone et de radon.

III.1.2. Principales caractéristiques de l'air :

On définit les principales caractéristiques de l'air sec en partant des valeurs de base suivantes :

a. Pression atmosphérique:

$101325 \text{ Pa} = 1,01325 \text{ bar} = 10333 \text{ mm.CE} = 1,03308 \text{ Kg/cm}^2 = 760 \text{ mmHg}$.

b. Température: 20°C et 15°C au niveau de la mer.

La température décroît linéairement avec l'altitude (z) jusqu'aux limites de l'atmosphère (isotherme) ou stratosphère (environ 11000mètre) ; Au-delà $T = -56,5^\circ\text{C} = \text{cte}$ donc l'air est sec.

On peut exprimer la température au moyen de la relation suivante : $T = t_0 - 0,0065z$. (III.1.1)

Valable jusqu'à 11000m. Avec: ($t_0 = 15^\circ\text{C}$, z : altitude [m]).

c. Constante « R » de la Mariotte Gay-Lussac :

En conditionnement d'air les gaz constituant l'air atmosphérique sont très éloignés de leur température de liquéfaction et peuvent être considérés comme gaz parfaits ; Il s'ensuit que la loi des gaz parfaits peut être appliquée à l'air sec:

$PV = RT$ Avec : P (La pression en [Kg/cm^2 ou Pa]), V (Volume molaire en [m^3/Kg]), R (Constante en [J/mol.K]), T (La température en [K]).

La constante (R_a) de l'air sec: $R_a = 29,27 [\text{Kg/m}^3.\text{Kmol.K}]$.

d. Masse Volumique ($\rho_{\text{air sec}}$) :

$\rho_{\text{air}} = 1,293 [\text{Kg/m}^3]$ pour ($P = 760 \text{ mmHg}$ et $T = 0^\circ\text{C}$) Pour toute autre température et

pression: $\rho_{\text{air}} = 1,293 \cdot \left(\frac{P}{760}\right) \cdot \left(\frac{273}{273+t}\right) \Rightarrow \rho_{\text{air}} = 0,465 \left(\frac{P_{\text{air sec}}}{T}\right)$ (III.1.2)

Avec : ρ_{air} (La masse volumique en [Kg/m^3]), T (La température en [K]), P (La pression en [mmHg]).

e. Chaleur massique (Capacité calorifique molaire) :

En conditionnement d'air la température (t) des diagrammes psychrométriques varie de -10°C à 40°C , on peut considérer que la chaleur massique comme constante $C_p = 0,2357 [\text{Kcal/Kg d'air sec}]$.

En pratique on prend le $C_p=0,24$ [Kcal/Kg d'air sec] ; La chaleur massique de l'air ne varie que de 0,2394 à 0,2416 entre 0°C et 60°C pour une pression de 760mmHg.

III.1.3. Air humide :

a. La constante « R » :

L'air atmosphérique n'est jamais parfaitement sec et contient toujours, en suspension une certaine quantité de vapeur de l'eau, La tension de vapeur (pression partielle « f ») étant généralement très faible dans les conditions d'emploi des diagrammes psychrométriques, on admet que cette vapeur se comporte comme un gaz parfait, La Constante R de l'eau (Vapeur) $R_w=47,1$ [Kg /m³.Kmol. K].

Enfin, on obtiendra la constant « R » pour l'air humide (R_h) par le rapport de la constante (R_a) pour l'air sec à la masse volumique (ρ_h), par rapport à l'air de l'air humide considère dans les mêmes conditions de température et de pression:

$$R_h = \frac{R_a}{\rho_h} = \frac{29,27}{\rho_h} \Rightarrow R_h = \frac{29,27}{\rho_h} \quad (\text{III.1.3})$$

avec R_h (La masse volumique de l'air humide).

Comme en exprimer les pressions en [mmHg] les trois valeurs des constantes « R ».

Pour l'air sec: $R_a = \frac{29,27}{13,6} \Rightarrow R_a = 2,15$ [Kg/m³.Kmol.K] ;

Pour l'air humide: $R_h = \frac{29,27}{13,6.\rho_h} \Rightarrow R_h = \frac{2,15}{\rho_h}$ [Kg/m³.Kmol.K] ;

Pour l'eau: $R_w = \frac{47,1}{13,6} \Rightarrow R_w = 3,46$ [Kg/m³.Kmol.K] ;

La valeur 13,6 utilisée pour la conversion c'est 10330 : [Kg/m²/760mmHg]. [40]

Chapitre 2 : Grandeurs physiques intervenant dans les modifications d'état de l'air atmosphérique ambiant

III.2.1. Températures (sèche ou humide):

La température sèche est mesurée à l'aide d'un la température ordinaire ou bulbe sec par contre la température humide est mesurée à l'aide d'un thermomètre dont le bulbe est recouvert d'une gaze (mèche de coton) imbibée d'eau, L'ensemble de ces deux thermomètre place dans un boitier spéciale est expose à un courant d'air ayant une vitesse d'environ 3 à 5 [m/s] est appelle (PSYCHROMETRE).

III.2.2. Humidité relative [%], (e , ϕp , Hr , ϵ) :

L'humidité relative (taux de saturation des vapeurs d'eau dans l'air atmosphérique ou ambiant) est le rapport de la pression partielle (tension) de vapeur d'eau (Pv) de l'air humide à la pression De saturation de vapeur de l'air saturé même température sèche.

$\phi p = \frac{Pv}{Ps}$ Lorsque la pression partielle de la vapeur d'eau (Pv) dans le mélange à une température donnée est la pression de saturation à la même température, l'air se trouve à l'état saturé

Et $\phi p = 100\%$ ($Pv = Ps$).

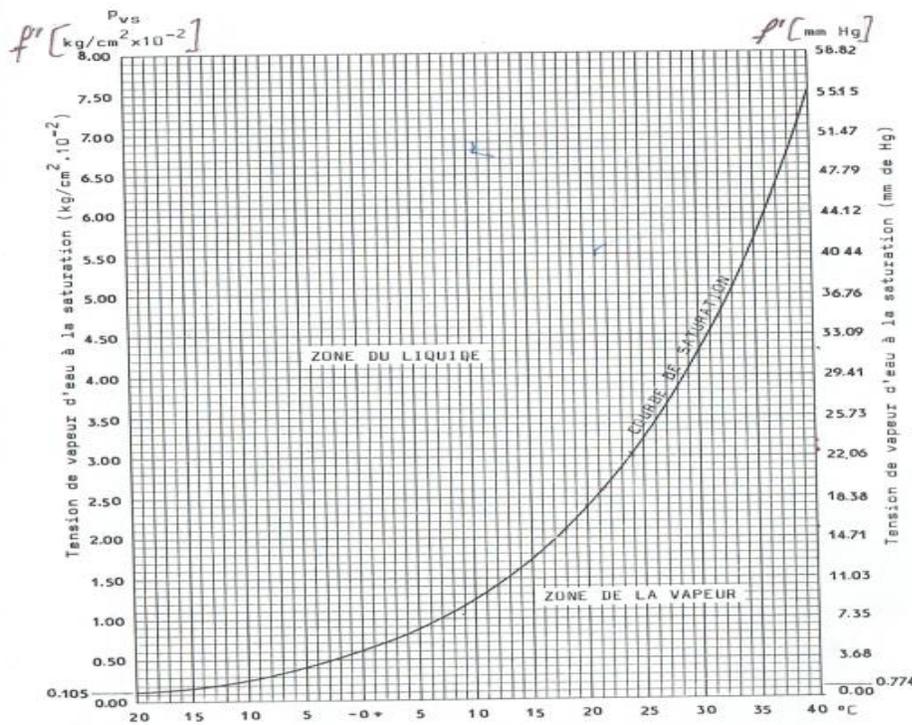


Figure III.2.1. Pression partielle (ou tension) de vapeur d'eau à la saturation en fonction de la température. [40]

III.2.3. Humidité absolue (teneur en vapeur d'eau) (X ou W [Kg/Kg d'air sec]) :

Est la quantité d'eau contenue dans l'air sous forme de vapeur.

$$X=W=\frac{\text{masse d'humidité [g ou Kg]}}{\text{masse unité d'air sec [Kg]}} \quad (\text{III.2.1})$$

Cette quantité varie en fonction de la température sèche de l'air ambiant jusqu'à une valeur maximale pour l'air atteint son état de saturation, Toute addition d'une quantité supplémentaire d'eau à cette température même sous forme d'un dépôt (buée).

Puisque l'air atmosphérique est considéré comme un gaz parfait, on peut lui appliquer la loi des gaz parfait ($PV = RT$).

-Pour la vapeur d'eau : $R_w=3,46$ [Kg/m³.mol.K]

$$D'où \quad P_v \cdot V = \frac{W}{1000} \cdot R_w T \Rightarrow P_v \cdot V = \frac{W}{1000} \cdot 3,46 \quad (\text{III.2.2})$$

La masse Vapeur d'eau c'est la masse contenue dans un Kg d'air sec et exprimer par

$(1 + \frac{W}{1000})$ Kg avec W [g] , 1 [unité d'air sec] , 1000 [la quantité de vapeur d'eau].

Pour l'air : $R_a=2,15$ [Kg/m³.Kmol.K].

$(P - P_v)V = 1 \cdot R_a \cdot T \Rightarrow (P - P_v)V = 2,15T$ Avec $(P - P_v)$ [pression d'air sec], 1 [masse unité d'air sec].

En divisant nombre à nombre les deux relations ci-dessus :

$$\text{On obtient : } \frac{W}{1000} = \frac{2,15}{3,46} \cdot \frac{P_v}{P - P_v} \quad (\text{III.2.3})$$

$$W = 0,622 \cdot \frac{P_v}{P - P_v} \text{ [Kg/Kg d'air sec]} \text{ Ou bien } \Rightarrow W = 622 \frac{P_v}{P - P_v} \text{ [g/Kg d'air sec].}$$

III.2.4. Degré de saturation [Ψ] :

Se définit comme étant le rapport de la masse de la vapeur d'eau par unité l'air sec (X ou W) à la masse de vapeur par unité de masse de mélange saturé (X_s ou W_s).

$$\Psi = \frac{W}{W_s} = \frac{X}{X_s} = \frac{\text{Kg vap/Kg d'air sec}}{\text{Kg vap sat/Kg d'air sec}} \quad (\text{III.2.4})$$

Par définition les valeurs de Ψ se situent entre 0 et 1.

$$\Psi = \frac{W}{W_s} = \frac{0,622 \cdot (\frac{P_v}{P - P_v})}{0,622 (\frac{P_s}{P - P_s})} = \left(\frac{P_v}{P_s}\right) \cdot \left(\frac{P - P_s}{P - P_v}\right) \Rightarrow \Psi = \phi p \left(\frac{P - P_s}{P - P_v}\right) \text{ Avec } \left(\frac{P_v}{P_s} = \phi p \text{ Humidité relative}\right).$$

Dans la zone de mélange (d'air sec +vapeur d'eau) $\Rightarrow P_s > P_v \Rightarrow \left(\frac{P - P_s}{P - P_v}\right) < 1$ et $\Psi < \phi p$.

Il s'ensuit que les courbes d'égal humidité relative (ϕp) se trouvent au-dessous des courbes d'égal degré de saturation (Ψ).

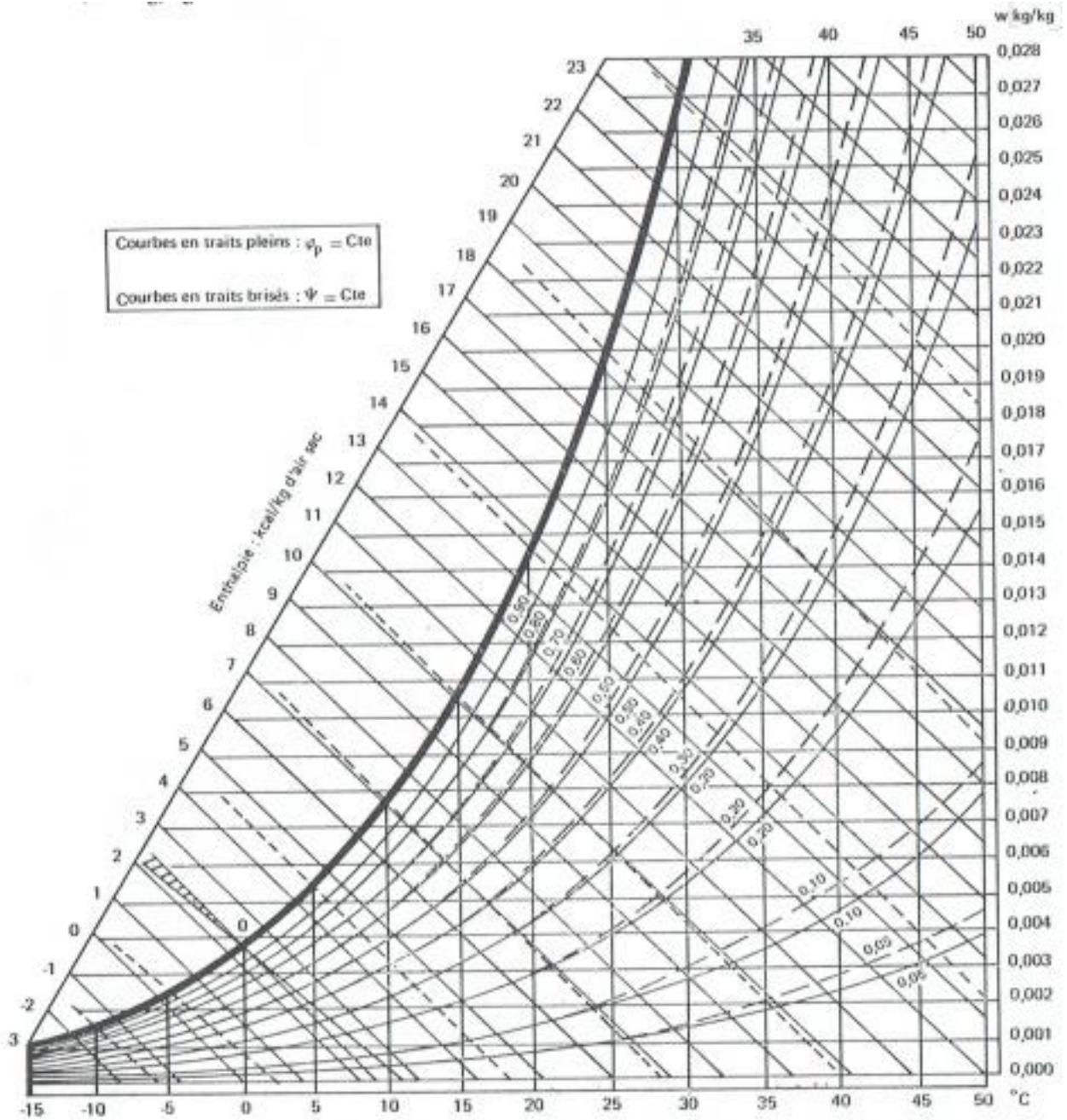


Figure III.2.2. Diagramme psychrométrique montrant la grande affinité des courbes d'égal degré de saturation et d'égal humidité relative. [40]

L'écart entre Ψ et ϕp étant pratiquement inexistant jusqu'à 20°C ;

$$\text{Pour } t < 20^\circ\text{C} \Rightarrow \Psi = \phi p \Rightarrow \frac{Pv}{Ps} = \frac{W}{Ws}$$

III.2.5. Point de rosée (température de rosée (tr)) :

La rosée c'est la vapeur ou le brouillard qui se dépose sur la terre (sur l'herbe) qui s'est refroidi durant toute la nuit en fines au lever du jour à course de d'élévation de la température.

La température de rosée est la température à laquelle d'air ambiant contient la masse maximale de vapeur d'eau qu'il peut contenir par Kg d'air sec, L'air est dit saturée et à partir de ce point précis commence en effet la condensation ;La température sèche et humide du point de rosée ont exactement la même valeur $t\ sèche = t\ humide$ au point de rosée (sur la courbe de saturation).

III.2.6. Masse volumique de l'air humide (ρ) :

La masse volumique définit en fonction de la température de la pression atmosphérique et de la pression partielle de la vapeur est : $\rho h = \rho as + \rho vap$ (III.2.5)

En expriment les pressions en [mmHg].

➤ La masse volumique de l'air sec pour 1m³ d'air humide : $\rho as = 0.465 * \left(\frac{Pas}{T}\right)$ (III.2.6)

➤ La masse volumique de la vapeur d'eau pour 1m³ d'air humide : $\rho vap = 0.289\left(\frac{Pv}{T}\right)$ (III.2.7)

⇒ La masse volumique de l'air humide

$$\rho h = \rho as + \rho vap = 0.465 * \left(\frac{Pas}{T}\right) + 0.289 * \left(\frac{Pv}{T}\right) \quad (III.2.8)$$

avec ($P = Pas = 760$ [mmHg]).

$$\Rightarrow \rho h = \left(\frac{0.465Pas - 0.176Pv}{T}\right) = \rho as - \left(\frac{0,176Pv}{T}\right)$$

$$\Rightarrow \rho h = \rho as - \left(\frac{0,176Pv}{T}\right)$$

On voit que l'air humide est toujours plus léger que l'air sec, ce qui explique bien sa tendance à se stratifier sans le plafond.

III.2.7. Chaleur sensible (Qs ou Hs) :

On définit généralement la chaleur sensible comme étant la quantité de chaleur (Kcal/Kg d'air sec) nécessaire à l'échauffement d'une substance ou d'un corps sans en modifies leur état.

III.2.8. Chaleur latente (QL ou HL) :

On définit la chaleur latente de vaporisation comme étant la chaleur nécessaire pour faire passer un corps d'un état à un autre (transformation de l'eau en vapeur) à pression et à température constantes.

L'une manière générale, on appelle la chaleur latente de fusion ou solidification, vaporisation ou liquéfaction.

III.2.9. Unité d'air humide :

L'unité d'air humide que l'on choisit habituellement pour l'établissement des diagrammes psychrométriques est la masse d'eau contenue par [Kg d'air sec].

Le volume de l'air sec ou humide varie en effet la température, tandis que la masse de ce même air sec reste invariable.

Le changement de température et de pression ne peuvent pas modifier les masses respectives d'air et de vapeur présente dans un certain volume d'air humide, aussi longtemps qu'il n'y a pas condensation de la vapeur d'eau.

Ainsi nous pouvons écrire : masse unité de l'air humide contenant [1Kg d'air sec] est égale à

$$\left(1 + \left(\frac{w}{1000}\right)\right) [\text{Kg}].$$

Le choix ci-dessus de l'unité d'air humide permet de déterminer l'enthalpie de chaque constituant :

➤ Enthalpie de l'air sec $H_s = 0,24t$ [Kcal/Kg d'air sec] (H_s Chaleur sensible) ;

➤ Enthalpie de la vapeur d'eau $HL = 594,7 + 0,477t - j.P$ [Kcal/Kg d'air sec].

(HL Chaleur latente) ; avec : $P \Rightarrow$ représente la tension de la vapeur d'eau dans ce mélange [Kg/cm²]

$j \Rightarrow$ Coefficient dépendant de la température.

T (°C)	0	5 à 10	15 à 25	30 à 45	50	60
j	8	7	6	5	4,3	3,9
P (Kg/cm ²)	0,0063	0,0089 à 0.0129	0,0173 à 0,032	0,0429 à 0,0971	0,1251	0,2023

Tableau III.2.1. Le terme $j.P$ de la formule de Mollier par rapport la température.

L'examen de ce tableau permet de constater que le terme $j.P$ de la **formule de Mollier** varie (entre 0 et 45°C) de 0,05 à 0,49 seulement ce qui permet de le négliger et écrire :

L'enthalpie de la vapeur d'eau $HL = 594,7 + 0,477t$ [Kcal/Kg d'air sec].

Ainsi l'enthalpie de l'unité d'air humide : $H = 0,24t + 594,7 + 0,477t$ [41] (III.2.9)

1-2 ⇒ Droite d'évolution d'air.

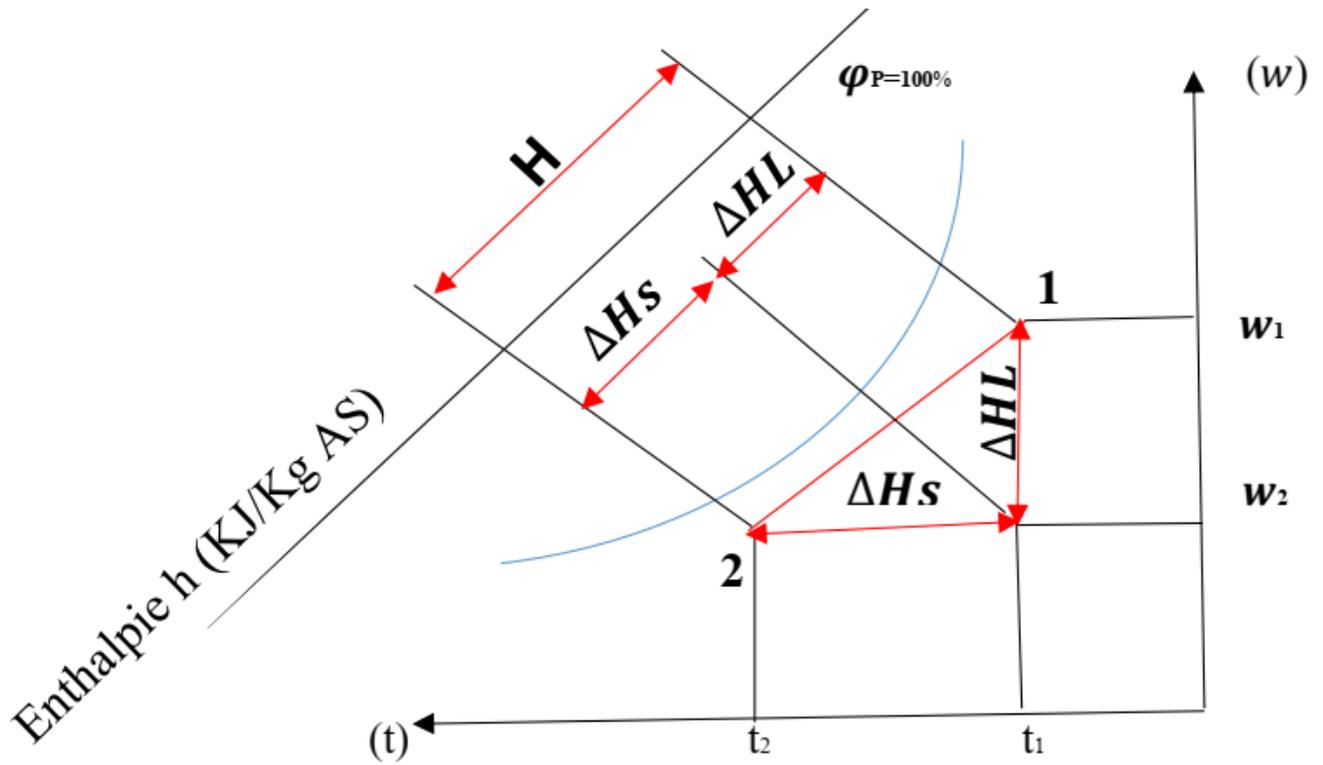


Figure III.2.3. Triangle d'évolution d'air dans le diagramme psychrométrique.

Chapitre 3 : Diagramme psychrométrique

III.3.1. Description et construction :

Les caractéristiques paramétriques physiques fondamentales de l'air humide qui ont été définies et analysées ne constituent pas des variables indépendantes, elles sont liées entre elles par des relations bien définies de sorte que deux quelconque d'entre elles suffisent pour caractériser un état donné de l'air humide considéré ; Toutes les autres grandeurs se déduisent d'où à partir des deux autres.

III.3.2. Diagramme de l'air humide :

La grande majorité des diagrammes d'air humide (hydrographique ou psychrométrique) sont établis pour une pression atmosphérique normale $P=760$ [mmHg], Pour les autres pressions autres que la pression atmosphérique normale (760mmHg) les graduations doivent être rectifiées :

a. L'humidité relative :

$$\varphi_p = \varphi_{p0} \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (\text{III.3.1})$$

avec : ($p \Rightarrow$ pression en altitude, $p_0 \Rightarrow$ pression au niveau de la mer).

b. Volume massique :

$$v = v_0 \left(\frac{p_0}{p} \right) \quad \text{à l'altitude la pression (} p \text{) barométrique diminue.} \quad (\text{III.3.2})$$

➤ Une augmentation du volume et de la masse volumique variera aussi le même rapport

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{p}{p_0} \right) \text{ [Kg/m}^3\text{]} \quad (\rho \text{ La masse volumique)} \quad (\text{III.3.3})$$

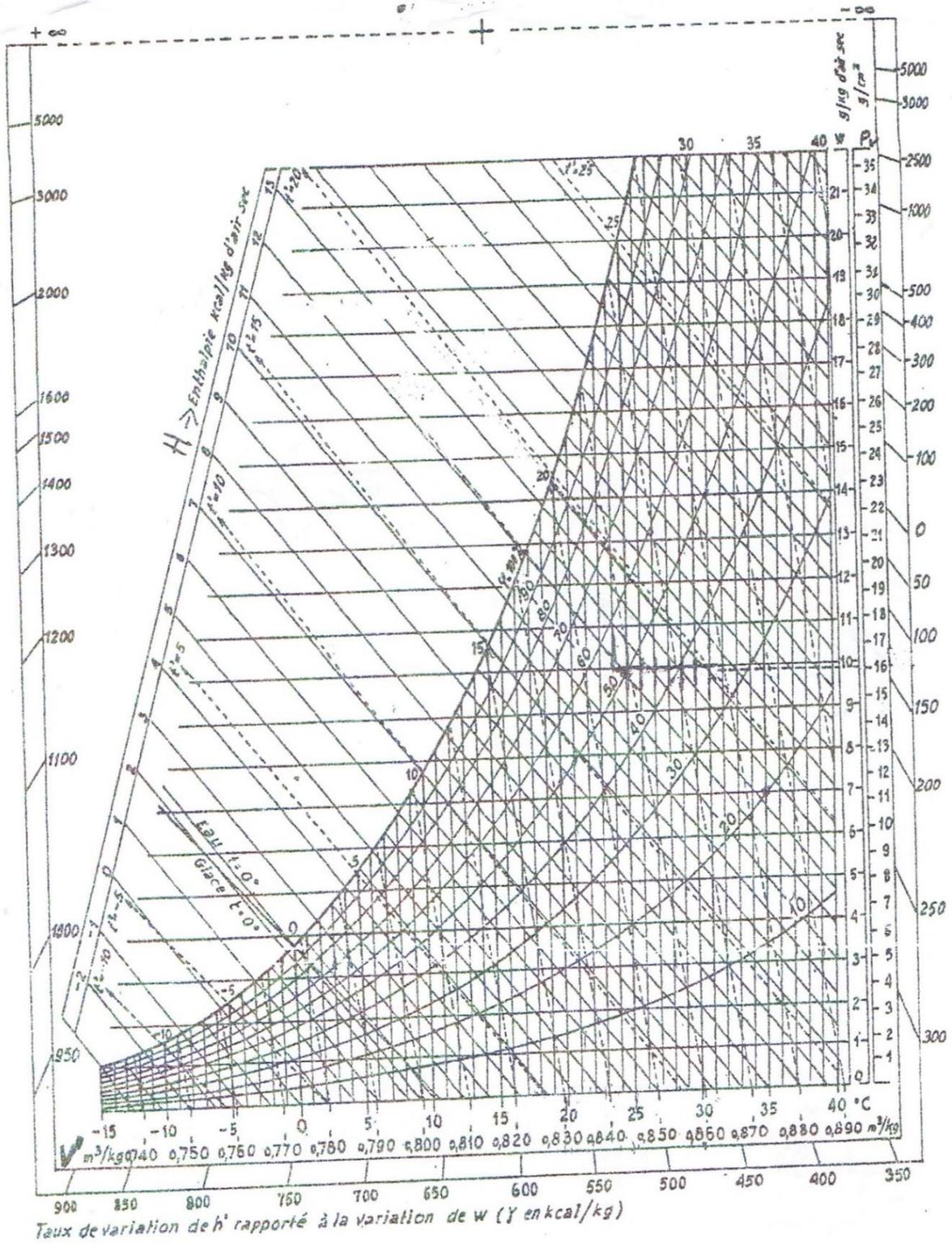


Figure III.3.2. Diagramme Psychrométrique. [40]

III.3.3. Effet barométrique sur les caractéristiques paramétriques d'air humide :

L'abaissement de la pression atmosphérique avec l'altitude à une incidence directe sur la masse volumique et le volume massique de l'air, Si nous utiliserons un diagramme classique (avec 760mmHg au niveau de la mer) à une certaine altitude, Tous les paramètres caractérisant l'état de l'air considéré doivent être préalablement convertis à l'exception de la température sèche pour pouvoir être utilisé dans les conditions équivalence au niveau de la mer ;C'est-à-dire pour tout relevé de la température sèche(t) et la température humide (t') à une altitude au-dessus de la mer et pour situe l'état de l'air considère sur le diagramme psychrométrique (760mmHg), ou commence donc par déterminer la pression partielle de la vapeur d'eau.

$$Pv = P' - 0,000668 \cdot Patm(t - t') \cdot \left(1 + \left(\frac{t'}{1571}\right)\right) \quad \text{Formule de Ferrel} \quad (\text{III.3.4})$$

avec $Pv \Rightarrow$ pression partielle pour t et t' en altitude.

$P' \Rightarrow$ Pression partielle de la vapeur d'eau à la saturation pour la température humide (t') en altitude.

(Déterminée à partir du diagramme d'après la **FigureIII.3.2** à l'aide de (t') et non pas (t)).[42]

III.3.4. Représentation graphique des différentes transformations d'état de l'air sur un diagramme psychrométrique :

a. Transformation isothermique :(isotherme $t=cte$) il s'agit d'un changement d'état de l'air pendant lequel la température sèche(t) reste constante($t=cte$).

[Humidification ou déshumidification], Pour la droite d'évolution AB :

- L'humidité absolue (ω) augmente ;
- L'humidité relative (ϕp) augmente ;
- Chaleur Latente (HL) augmente ;
- Chaleur totale (Ht) augmente ;

La droite AB s'appelle : isotherme ;

- La chaleur sensible ($Hs = 0$) ;

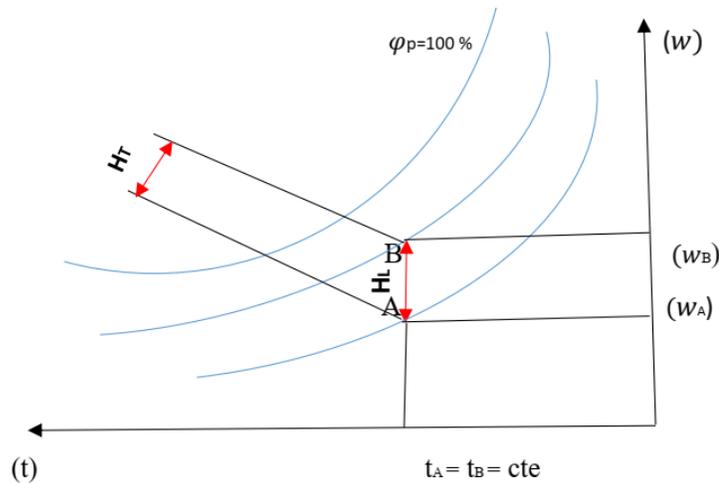


Figure III.3.3. Transformation isothermique.

b. Transformation adiabatique : (isenthalpe $H=cte$) C'est un changement d'état de l'air sans aucun échange de chaleur avec l'extérieur, Dans un diagramme psychrométrique la droite de la température (t') se confond avec l'isenthalpe ($H=cte$) surtout pour les températures inférieures à 20°C, Au point C (à la saturation de l'air) les températures (sèche, humide et de rosée) sont égales $t=t'=t_r$;

- La chaleur sensible (ΔH_s) diminue ;
- L'humidité relative (ϕ_p) augmente ;
- L'humidité absolue (ω) augmente ;
- La chaleur latente (ΔH_L) augmente ;

Une saturation adiabatique du point (A) au point (C) est un échange thermique permettant de saturer l'air humide sans pour autant modifier l'enthalpie.

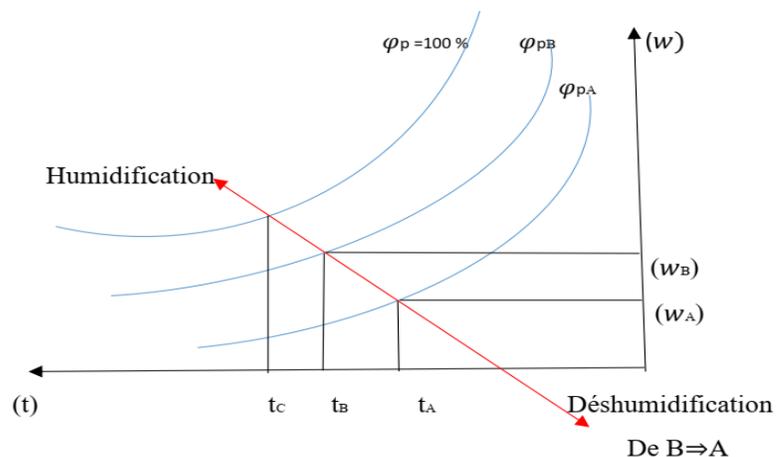


Figure III.3.4. Transformation adiabatique.

c. Transformation isohydre ($\omega = \text{cte}$) :

La transformation à humidité absolue (ω) constante de l'air humide est fréquente en conditionnement d'air puisqu'elle peut avoir lieu dans un processus de chauffage (de A à B) que dans celui de refroidissement (de B à A) de l'air traité, Lors du chauffage (de A à B) :

➤ $\begin{cases} \Delta Hs \\ t \text{ et } t' \end{cases} \Rightarrow \text{Augmente ;}$

➤ $\Delta HL = 0 ;$

➤ $\varphi p \Rightarrow \text{diminue ;}$

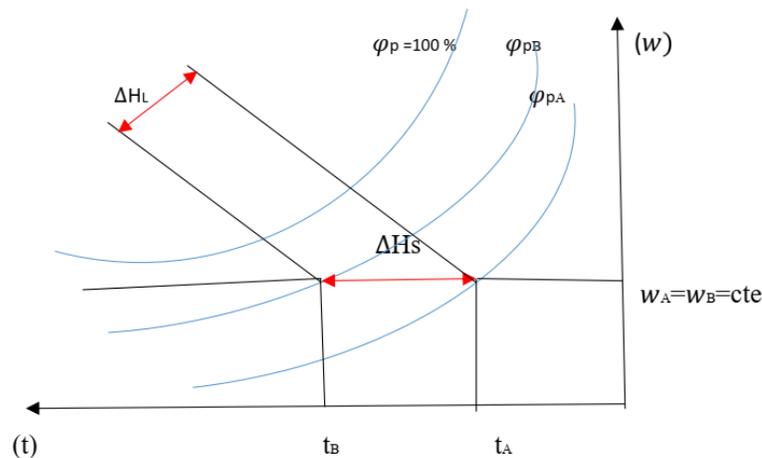


Figure III.3.5. Transformation isohydre.

III.3.5. Détermination du point figuratif (M) mélange de deux(ou plusieurs) quantités d'air :

➤ La 1^{ère} méthode :

Elle s'effectue en joignant les point A et B de la droite d'évolution et mesurant La distance AB sur le diagramme psychrométrique.

$$\text{Distance MA} = \text{distance AB} \times \frac{MA}{Mt} \quad (\text{III.3.5})$$

avec (MA masse de la quantité B, Mt masse de la quantité totale le (mA+mB)).

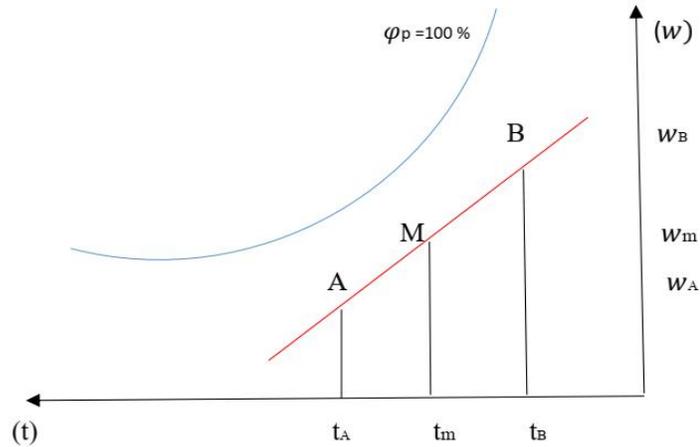


Figure III.3.6. La 1^{ère} méthode pour déterminer le Point figuratif (M).

➤ La 2^{ème} méthode :

est définie comme suit :

-Pour la température du mélange (tm) :
$$tm = \left(\frac{MA}{Mt} \cdot tA\right) + \left(\frac{MB}{Mt} \cdot tB\right) \quad (\text{III.3.6})$$

-Pour l'humidité absolue du mélange (Wm) :
$$Wm = \left(\frac{MA}{Mt} \cdot WA\right) + \left(\frac{MB}{Mt} \cdot WB\right) \quad (\text{III.3.7})$$

-pour l'enthalpie du mélange (Hm) :
$$Hm = \left(\frac{MA}{Mt} \cdot HA\right) + \left(\frac{MB}{Mt} \cdot HB\right) \quad (\text{III.3.8})$$

$Mt \Rightarrow$ Masse totale du mélange.

Dans le cas de mélange de plusieurs quantités d'air, on commencera par appliquer tout d'abord la méthode de mélange de deux quantités A1 et B1 \Rightarrow M1 ensuite on considère M1 comme étant un air à l'état A2 (A2= M1) que l'on mélange avec le point B2 \Rightarrow le point M2 qui représentera ainsi l'état du 2^{ème} mélange :

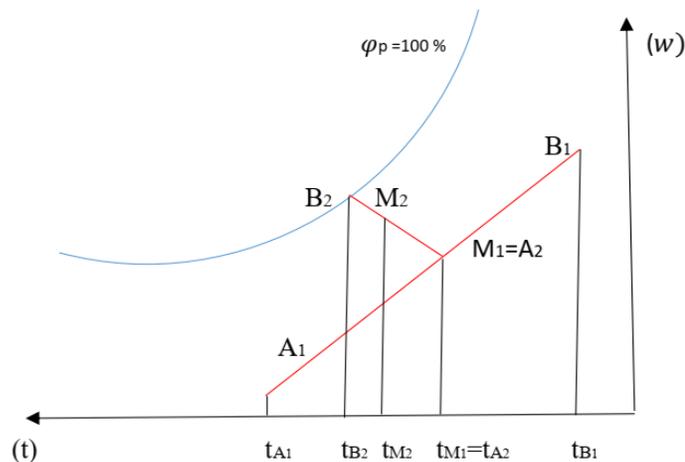


Figure III.3.7. La 2^{ème} méthode pour déterminer le Point figuratif (M). [44]

Chapitre 4 : Étude de la climatisation d'une salle de cinéma à l'aide d'un CTA

Climatisation d'une salle de cinéma :

On étudie la climatisation d'une salle de cinéma de capacité 350 place.

Le système retenu se compose principalement d'une centrale de traitement d'air unizone à débit constant d'un réseau de conduits d'air, de diffuseurs de sol implantés sous les fauteuils et de grille de reprise plafonnières.

Données techniques :

- Conditions intérieures du local **L** souhaitées :

➤ Estivales (**LE**) :

Température = 27 °C, hygrométrie = 50 %.

➤ Hivernales (**LH**) :

Température = 21 °C, hygrométrie = 50 %.

- Conditions extérieures **E** de base :

➤ Estivales (**EE**) :

Température Sèche = 32 °C, Température humide = 21 °C.

➤ Hivernales (**EH**) :

Température = - 6 °C, hygrométrie = 90 %.

- Bilans enthalpique et hydrique dans les conditions extérieures de base :

CHARGES	ÉTÉ		HIVER	
	HE [KW]	ME [Kge/s]	HH [KW]	MH [Kge/s]
Occupants	37,2	$7,7 \cdot 10^{-3}$	36,3	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Transmission Par les parois	21,5	0	- 40,5	0
Charges totales	58,7	$7,7 \cdot 10^{-3}$	- 4,2	$4,5 \cdot 10^{-3}$

Le principe de diffusion utilisé limite l'écart de soufflage à 5 [K] en air froid et à 8 [K] en air chaud.

Travail demandé :

Pour l'ensemble de l'étude ; on supposera que l'occupation de la salle est maximale (350 personnes).

Calculs préliminaires :

- ❖ Calculer le débit minimal d'air neuf réglementaire à introduire dans la salle.
- ❖ Calculer le débit de soufflage nécessaire.
- ❖ Calculer le taux d'air neuf.

Étude dans les conditions de base estivales :

- ❖ Représenter sur le diagramme de l'air humide l'évolution de l'air dans l'ensemble de l'installation ; justifier les résultats obtenus.
- ❖ Calculer : la puissance de la batterie froide, son efficacité, le débit d'eau condensé.
 - Proposer un régime de l'eau glacée.
 - Quelle devrait être la température d'ébullition du fluide frigorigène dans le cas d'une batterie à détente directe ?

Étude dans les conditions de base hivernales :

- ❖ Représenter sur le diagramme de l'air humide, l'évolution de l'air humide dans l'ensemble de l'installation ; justifier les résultats obtenus.
- ❖ Calculer : la puissance de la batterie chaude, la puissance et le débit de l'humidificateur à vapeur ($h_v = 2676 \text{ [KJ/Kg]}$).

Réaliser le schéma de principe de l'installation.**Étude dans les conditions de base hivernales : variante avec ventilateurs à deux vitesses :**

On remplace les moteurs des ventilateurs de soufflage et de reprise par des moteurs à deux vitesses de rotation, il en résulte que le débit correspondant à la petite vitesse est égal à la moitié du débit correspondant à la grande vitesse, le grand débit est utilisé en été, le petit débit en hiver

- ❖ Représenter sur le diagramme de l'air humide, l'évolution de l'air humide dans l'ensemble de l'installation ; justifier les résultats obtenus.
- ❖ Expliquer les avantages apportés par cette variante.

III.4.1. Calculs préliminaires :

Nombre de personnes : 350

ÉTÉ		HIVER	
H _E [KW]	M _E [Kge/s]	H _H [KW]	M _H [Kge/s]
58,7	0,0077	-4,2	0,0045

a. Débit d'air neuf minimal :

La température impose, par personne, un débit minimal de 18 [m³/h]

$$qm_{AN} = \rho \cdot qv_{AN}$$

$$qm_{AN} = 1,2 \times \frac{18}{3600} \times 350 = 2,1 \text{ [Kg d'air sec /s]}$$

b. Débit de soufflage en air froid :

Avec un écart de soufflage maximal, $\Delta t_{SE \max} = 5$ [K]

$$qm_{ASE \min} = P_{SE} / (c_p \cdot \Delta t_{SE \max})$$

$$qm_{ASE \min} = (H_E - (2500 \times 0,0077)) / (1 \times 5)$$

$$qm_{ASE \min} = (58,7 - (2500 \times 0,0077)) / (1 \times 5)$$

$$qm_{ASE \min} = 7,89 \text{ [Kg d'air sec /s]}$$

c. Débit de soufflage en air chaud :

Avec un écart de soufflage maximal, $\Delta t_{SH \max} = 8$ [K]

$$qm_{ASH \min} = (H_H - (2500 \times 0,0045)) / (1 \times \Delta t_{SH \max})$$

$$qm_{ASH \min} = (-4,2 - (2500 \times 0,0045)) / (1 \times (-8))$$

$$qm_{ASH \min} = 1,93 \text{ [Kg d'air sec /s]}$$

d. Débit de soufflage à prévoir en toutes saisons :

Les conditions de soufflage les plus défavorables sont en été, on retient donc :

$$qm_{AS} = qm_{ASE} = 7,89 \text{ [Kg d'air sec/s]}$$

Les écarts de température maximaux sont bien respectés, il est également possible de tracer la droite de soufflage passant par le point local, sur le diagramme de l'air humide à l'aide de l'écart de soufflage

On positionne le point de soufflage les caractéristiques du point de soufflage sont alors lues sur le diagramme de l'air humide.

e. Taux d'air humide :

$$\tau_{AN} = qm_{AN} / qm_{AS}$$

$$\tau_{AN} = 2,1 / 7,89 = 0,266$$

III.4.2. Étude dans les conditions estivales :

On a : 1Kcal = 4,185 KJ

	T [°C]	T _h [°C]	φ [%]	h [KJ/Kg]	w [Kge /Kg d'air sec]	v' [m ³ /Kg d'air sec]
E _E	32	21	37	60,36	0,01101	0,879

	T [°C]	φ [%]	h [KJ/Kg d'air sec]	w [Kge /Kg d'air sec]	v' [m ³ air humid/Kg d'air sec]
L _E	27	50	55,71	0,0112	0,865

a. Point de soufflage en été :

$$h_{SE} = h_{LE} - (H_E / qm_{AS})$$

$$h_{SE} = 55,71 - (58,7 / 7,89)$$

$$h_{SE} = 48,2 \text{ [KJ/Kg d'air sec]}$$

$$w_{SE} = w_{LE} - (M_E / qm_{AS})$$

$$w_{SE} = 0,0112 - (0,0077 / 7,89)$$

$$w_{SE} = 0,01022 \text{ [Kge /Kg d'air sec]}$$

	T [°C]	φ [%]	h [KJ/Kg d'air sec]	w [Kge /Kg d'air sec]	v' [m ³ /Kg d'air sec]
S _E	22,1	61	48,2	0,01022	0,850

b. Point de mélange :

$$qm_{AR} = qm_{AS} - qm_{AN}$$

$$qm_{AR} = 7,89 - 2,1 = 5,79 \text{ [Kg d'air sec/s]}$$

$$h_{ME} = (h_{LE} \cdot qm_{AR} + h_{EE} \cdot qm_{AN}) / qm_{AS}$$

$$h_{ME} = (55,71 \times 5,79 + 60,36 \times 2,1) / 7,89$$

$$h_{ME} = 56,94 \text{ [KJ/Kg d'air sec]}$$

$$w_{ME} = (w_{LE} \cdot qm_{AR} + w_{EE} \cdot qm_{AN}) / qm_{AS}$$

$$w_{ME} = (0,0112 \times 5,79 + 0,01101 \times 2,1) / 7,89$$

$$w_{ME} = 0,01114 \text{ [Kg/Kg d'air sec]}$$

	T [°C]	φ [%]	h [KJ/Kg d'air sec]	w [Kge /Kg d'air sec]	v' [m ³ /Kg d'air sec]
M _E	28,3	46,5	56,94	0,01114	0,868

En prolongeant le segment de droite [ME SE] jusqu'à la courbe de saturation, on détermine le point FPT dont les caractéristiques sont les suivantes :

	T [°C]	ϕ [%]	h [KJ/Kg d'air sec]	w [Kge /Kg d'air sec]	v' [m ³ /Kg d'air sec]
FPT	11,8	100	33,8	0,00853	0,817

c. Puissances et grandeurs caractéristiques des matériels :

• Puissance de la batterie froide :

$$P_{BFH} = qmAS. (h_{ME} - h_{SE})$$

$$P_{BFH} = 7,89 \times (56,94 - 48,2)$$

$$P_{BFH} = 68,95 \text{ [KW]}$$

• Efficacité de la batterie froide :

$$E_{BFH} = (h_{ME} - h_{SE}) / (h_{ME} - h_{FPT})$$

$$E_{BFH} = (56,94 - 48,2) / (56,94 - 33,8)$$

$$E_{BFH} = 0,377$$

• Débit d'eau condensé dans la batterie froide :

$$q_{mec} = qmAS. (w_{ME} - w_{SE})$$

$$q_{mec} = 7,89 \times (0,01114 - 0,01022)$$

$$q_{mec} = 0,00726 \text{ [Kge/s]}$$

• Régime d'eau glacée :

Pour un écart de température de 6 [K] et une température moyenne de surface de la batterie froide de 11,8 [°C] :

$$T_{egl} = T_{FPT} - \Delta T_{egl} / 2 = 11,8 - \left(\frac{6}{2}\right) = 8,8 \text{ [K]}$$

$$T_{egl} = T_{FPT} + \Delta T_{egl} / 2 = 11,8 + \left(\frac{6}{2}\right) = 14,8 \text{ [K]}$$

III.4.3. Étude dans les conditions hivernales :

	T [°C]	φ [%]	h [KJ/Kg d'air sec]	w [Kge /Kg d'air sec]	v' [m ³ /Kg d'air sec]
E _H	-6	90	-0,93	0,00205	0,770

	T [°C]	φ [%]	h [KJ/Kg d'air sec]	w [Kge/Kg d'air sec]	v' [m ³ /Kg d'air sec]
L _H	21	50	40,83	0,00775	0,848

a. Point de soufflage en hiver :

$$h_{SH} = (h_{LH} - H_H) / qmAS$$

$$h_{SH} = 40,83 - ((-4,2)/7,89)$$

$$h_{SH} = 41,36 \text{ [KJ/Kg d'air sec]}$$

$$w_{SH} = (w_{LH} - M_H) / qmAS$$

$$w_{SH} = 0,00775 - (0,0045/7,89)$$

$$w_{SH} = 0,00717 \text{ [Kge/Kg d'air sec]}$$

	T [°C]	φ [%]	h [KJ/Kg d'air sec]	w [Kge /Kg d'air sec]	v' [m ³ /Kg d'air sec]
S _H	23	41	41,36	0,00717	0,854

$$\Delta T_{SH} = T_{SH} - T_{LH} = 23 - 21 = 2 \text{ [K]} \quad \Delta T_{SH} = 2 < \Delta T_{\max} \text{ de } 8 \text{ [K]}$$

b. Point de mélange :

$$qmAR = qmAS - qmAN$$

$$qmAR = 7,89 - 2,1 = 5,79 \text{ [Kg d'air sec/s]}$$

$$h_{MH} = (h_{LH} \cdot qmAR + h_{EH} \cdot qmAN) / qmAS$$

$$h_{MH} = (40,83 \times 5,79 + (-0,93) \times 2,1) / 7,89$$

$$h_{MH} = 29,71 \text{ [KJ/Kg d'air sec]}$$

$$w_{MH} = (w_{LH} \cdot qmAR + w_{EH} \cdot qmAN) / qmAS$$

$$w_{MH} = (0,00775 \times 5,79 + 0,00205 \times 2,1) / 7,89$$

$$w_{MH} = 0,00623 \text{ [Kge /Kg d'air sec]}$$

	T [°C]	φ [%]	h [KJ/Kg d'air sec]	w [Kge /Kg d'air sec]	v' [m ³ /Kg d'air sec]
M _H	13,8	63	29,71	0,00623	0,827

c. Point de sortie de la batterie chaude :

$$h_H = h_{SH} - h_v \cdot (w_{SH} - w_H)$$

$$h_H = 41,36 - 2676 \times (0,00717 - 0,00623)$$

$$h_H = 38,84 \text{ [KJ/Kg d'air sec]}$$

$$\text{avec } w_{MH} = w_H = 0,00623 \text{ [Kge /Kg d'air sec]}$$

	T [°C]	ϕ [%]	h [KJ/Kg d'air sec]	w [Kge /Kg d'air sec]	v' [m³/Kg d'air sec]
H	22,9	36	38,84	0,00623	0,852

d. Puissance et grandeurs caractéristiques des matériels :**• Puissance de la batterie chaude :**

$$P_{BC} = qmAS \cdot (h_H - h_{MH})$$

$$P_{BC} = 7,89 \times (38,84 - 29,71)$$

$$P_{BC} = 72,03 \text{ [KW]}$$

• Puissance de l'humidificateur à vapeur :

$$P_{HV} = qmAS \cdot (h_{SH} - h_H)$$

$$P_{HV} = 7,89 \times (41,36 - 38,84)$$

$$P_{HV} = 19,88 \text{ [KW]}$$

• Débit de vapeur :

$$qm_v = qmAS \cdot (w_{SH} - w_H)$$

$$qm_v = 7,89 \times (0,00717 - 0,00623)$$

$$qm_v = 0,0074 \text{ [Kg/s]}$$

$$qm_v = 0,0074 \times 3600$$

$$qm_v = 26,64 \text{ [Kg/h]}$$

III.4.4. Variante avec des ventilateurs à deux vitesses :**a. Évolution de l'air :**

Le débit d'air est proportionnel à la fréquence de rotation.

Le débit d'air soufflé devient égal à :

$$qmAS' = qmAS_{PV} = qmAS/2$$

$$qmAS' = qmAS_{PV} = 7,89/2$$

$$qmAS' = qmAS_{PV} = 3,94 \text{ [Kg d'air sec/s]}$$

b. Point de soufflage S_H' :

$$h_{SH'} = h_{LH} - H_H / qm_{AS'}$$

$$h_{SH'} = 40,83 - (-4,2)/3,94$$

$$h_{SH'} = 41,90 \text{ [KJ/Kg d'air sec]}$$

$$w_{SH'} = w_{LH} - M_H / qm_{AS'}$$

$$w_{SH'} = 0,00775 - 0,0045/3,94$$

$$w_{SH'} = 0,00661 \text{ [KJ/Kg d'air sec]}$$

	T [°C]	φ [%]	h [KJ/Kg d'air sec]	w [Kge/Kg d'air sec]	v's [m³/Kg d'air sec]
S_H'	25	33,5	41,90	0,00661	0,859

c. Point de mélange M_H' a pour coordonnées :

$$qm_{AR'} = qm_{AS'} - qm_{AN}$$

$$qm_{AR'} = 3,94 - 2,1$$

$$qm_{AR'} = 1,84 \text{ [Kg d'air sec/s]}$$

$$h_{MH'} = (h_{LH} \cdot qm_{AR'} + h_{EH} \cdot qm_{AN}) / qm_{AS'}$$

$$h_{MH'} = (40,83 \times 1,84 + (-0,93) \times 2,1) / 3,94$$

$$h_{MH'} = 18,57 \text{ [KJ/Kg d'air sec]}$$

$$w_{MH'} = (w_{LH} \cdot qm_{AR'} + w_{EH} \cdot qm_{AN}) / qm_{AS'}$$

$$w_{MH'} = (0,00775 \times 1,84 + 0,00205 \times 2,1) / 3,94$$

$$w_{MH'} = 0,0047 \text{ [Kge/Kg d'air sec]}$$

	T [°C]	φ [%]	h [KJ/Kg d'air sec]	w [Kge/Kg d'air sec]	v' [m³/Kg d'air sec]
M_H'	6,7	77	18,57	0,0047	0,805

d. Point de sortie de la batterie chaude :

$$h_{H'} = h_{SH'} - h_v \cdot (w_{SH'} - w_{H'})$$

$$h_{H'} = 41,90 - 2676 \times (0,00661 - 0,0047)$$

$$h_{H'} = 36,79 \text{ [KJ/Kg d'air sec]}$$

$$\text{avec } w_{H'} = w_{MH'} = 0,0047 \text{ [Kge/Kg d'air sec]}$$

	T [°C]	φ [%]	h [KJ/Kg d'air sec]	w [Kge/Kg d'air sec]	v' [m³/Kg d'air sec]
H'	24,2	25	36,79	0,0047	0,858

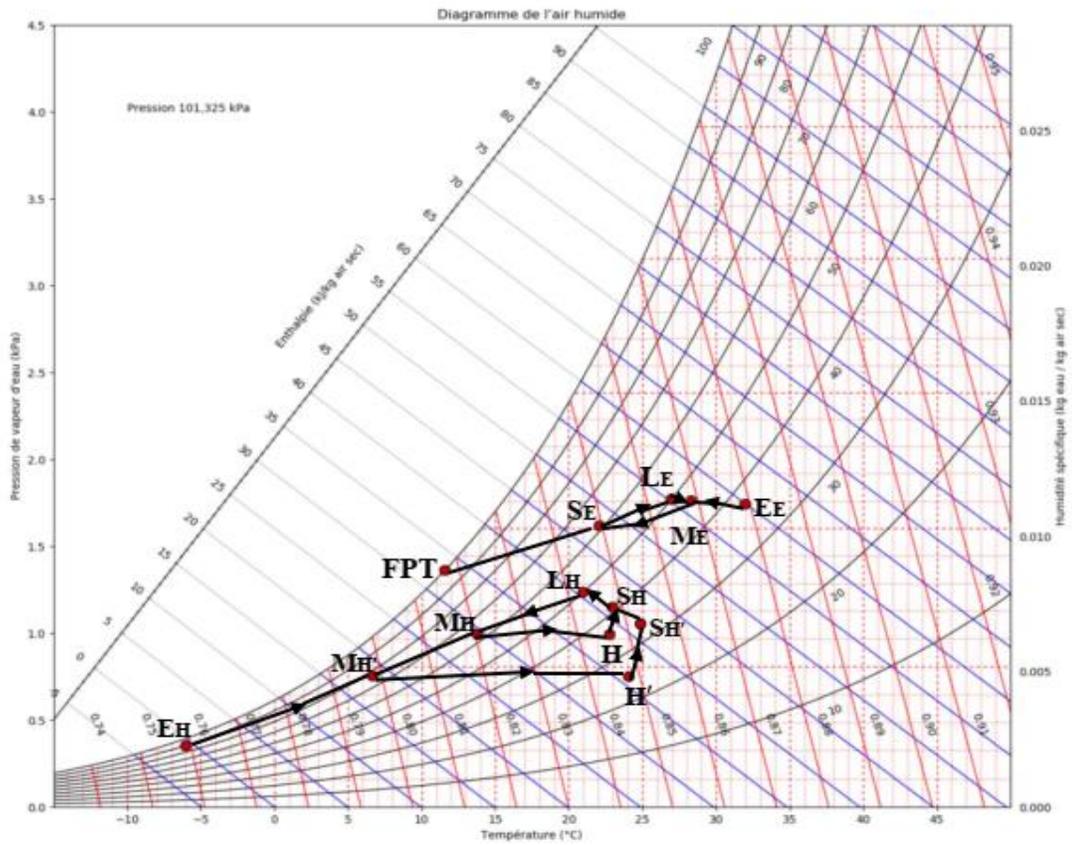


Figure III.4.1. Évolution d'air.

Air repris et rejeté

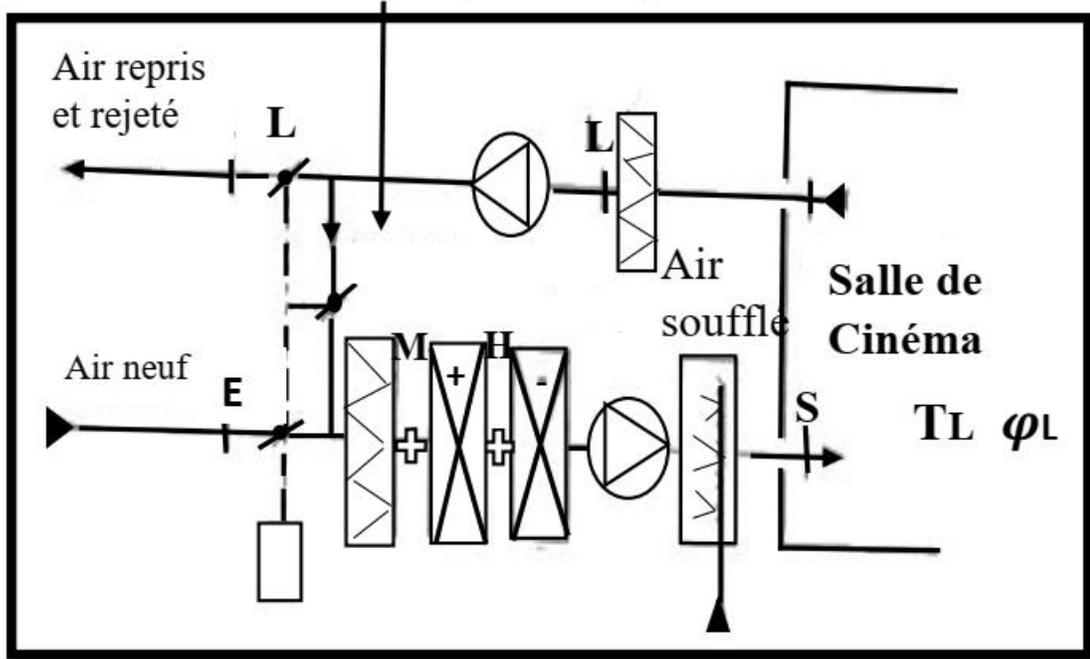


Figure III.4.2. Schéma de principe de la CTA.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Ce travail nous a permis d'étudier en détail le mode de fonctionnement des différentes transformations des processus de traitement de l'air.

Notre approche théorique consiste à décrire toutes les caractéristiques et le comportement thermodynamique de l'air ainsi que leurs applications au conditionnement d'air.

Cette étude nous a appris à nous servir du diagramme psychrométrique ; mettre en évidence nos connaissances dans le domaine étudié et nous a initié au calcul et la construction des CTA.

La réalisation de ce projet va permettre aux usagés du conditionnement d'air de déterminer :

- Les grandeurs thermodynamiques de l'air humide en tenant compte des différentes conditions de fonctionnement.
- Les bilans énergétiques et hydrauliques dans les installations d'air au fonction des conditions extérieures et désirées à l'intérieure du local.

Enfin, j'espère que cette étude sera un apport supplémentaire sur l'utilisation de l'air humide pour les futurs étudiants en énergétique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1] H.Rietschel, w.raiss.traité de chauffage et de climatisation tome 1-2, dunod, paris, 1973,1974 pour la traduction française.
- [2] Comparaison technico-économique entre différentes, installations de chauffage et de climatisation des locaux, université de batna, faculté de technologie, département mécanique, (2014).
- [3] <http://www.ac-grenoble.fr/college/de-boigne.motte-servolex/techno/5/CI5/co/activite8.html> (validé à la date du 25/05/2022 à 16 :19).
- [4]https://cdn.futurasciences.com/buildsv6/images/wide1920/2/f/0/2f0df55d01_50160304_combustible-bois.jpg (validé à la date du 20/05/2022 à 19:10).
- [5] <https://www.climamaison.com/lexique/chauffage-solaire.htm> (validé à la date du 20/05/2022 à 21:00).
- [6] <https://www.systemed.fr/images/conseils/eau-chaude-sanitaire-solaire-a-toujours-cote-5778-p5-1528-h528-c.png> (validé à la date du 25/05/2022 à 15 :53).
- [7] Technique du froid cours de base édition : juillet07 YSH04054.
- [8] Techniques de l'ingénieur, BE 9 858, Catherine Langlais et Sorin Klarsfeld, page 3.
- [9] <https://www.ma-maison-container.fr/isolation> (validé à la date du 12/05/2022 à 13:32).
- [10] Techniques de l'ingénieur, BE 9 861, Catherine Langlais et Sorin Klarsfeld, page 2.
- [11] <https://conseils-thermiques.org/contenu/images/laine-de-bois.png> (validé à la date du 28/05/2022 à 11:32).
- [12] https://www.mon-isolation.pro/wp-content/uploads/2017/07/shutterstock_266494868-480x0-c-default.jpg (validé à la date du 28/05/2022 à 11:45).
- [13] Techniques de l'ingénieur, BE 9 860, Catherine Langlais et Sorin Klarsfeld, page 2, 3,4.
- [14] <https://www.olwo.ch/upload/rm/spaceloft-board-13.jpg> (validé à la date du 28/05/2022 à 12:10).
- [15] Techniques de l'ingénieur, B 2 347, traité génie énergétique, Jean Danckaert, page 9, 10,11.
- [16] Conception, étude et analyse du conditionnement d'air et de chauffage d'un établissement scolaire libanais, institut des sciences appliquées et économiques centre associé au conservatoire national des arts et métiers paris, (2015).
- [17] <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQjSpL74xMZsVborTTdVMKW75D5jiE0mBmBCsHGPeRZu1j7j3UVEFrEkQgWlfzt-uHAU&usqp=CAU> (validé à la date du 11/05/2022 à 18:10).
- [18]http://4.bp.blogspot.com/FPD0E2XnqRI/U6geGz5R6I/AAAAAAAAAHw/_MikvRFoy0w/s1600/32.jpeg(validé à la date du 09/05/2022 à 11 :11).

- [19] https://energieplus-lesite.be/wp-content/uploads/2019/03/compresseur_frigo02.png(validé à la date du 09/05/2022 à 11 :15).
- [20] <https://i.ytimg.com/vi/6mldUvvX51c/maxresdefault.jpg>(validé à la date du 09/05/2022 à 11 :17).
- [21]<https://energieplus-lesite.be/wp-content/uploads/2019/03/detendeur.gif>(validé à la date du 09/05/2022 à 11 :20).
- [22] Note sur les réseaux de froid et la production de froid à partir de réseaux de chaleur, amorce ademe, (avril2008).
- [23] Guide technique pour le chauffage, la ventilation et la climatisation, agence nationale pour le développement d'énergie renouvelable et de l'efficacité énergétique.
- [24] <https://formation.xpair.com/essentiel-genie-climatique/lire/differents-types-pompes-chaleur.htm> (validé à la date du 11/04/2022 à 00 :40).
- [25] https://fr.wikipedia.org/wiki/Coefficient_de_performance(validé à la date du 11/04/2022 à 00 :50).
- [26] <https://www.engie-homeservices.fr/dossiers/pompe-chaleur/caracteristiques/les-avantages-et-inconvenients-dune-pompe-chaleur>(validé à la date du 13/04/2022 à 13 :20).
- [27] Automatisation et supervision d'un central traitement d'air, université mouloud mammeri de tizi-ouzou/faculté de génie électrique et d'informatique/département d'automatique, (28 septembre 2017).
- [28] Support de centrales de traitement d'air.
- [29] <https://www.abcclim.net/images/stories/imagesite/centrale-traitement-air-CTA.png>(validé à la date du 10/05/2022 à 19 :20).
- [30] Maintenance d'une centrale de traitement d'air, analyse FMD et méthode AMDEC, université larbi ben m'hidi, faculté des sciences et sciences appliquées, département de génie mécanique, (2020).
- [31] <https://www.isofilter.fr> (validé à la date du14/05/2022 à 15 :08).
- [32] (Mesure et régulation Fiche technique 90.7000).
- [33]<https://www.guide-climatisation.com/wp-content/uploads/2021/03/psychrometrique-et-climatisation-12.jp>(validé à la date du14/05/2022 à 17 :10).
- [34]https://www.encyclopedie-environnement.org/app/uploads/2018/10/Meteo_fig5-schema-hygrometrie-capacitif.jpg (validé à la date du14/05/2022 à 17 :30).
- [35]https://www.batiproduits.com/img/appareil-de-mesure-de-l-hygrometrie-humitest-hygro-l-002429618-product_maxi.jpg(validé à la date du14/05/2022 à 17 :50).
- [36] Desmons, jean. aide mémoire – génie climatique. paris : dundo, 2008/2009. ISBN 978 2100646244.

[37] https://energieplus-lesite.be/wp-content/uploads/2019/03/Humidificateur_vapeur1.gif (validé à la date du 28/05/2022 à 18 :20).

[38] <https://energieplus-lesite.be/wp-content/uploads/2019/03/Humidif4.gif> (validé à la date du 28/05/2022 à 18:25).

[39] https://energieplus-lesite.be/wp-content/uploads/2019/03/ventilo_convecteur_cassette.gif (validé à la date du 30/05/2022 à 19:10).

[40] Manuel de conditionnement d'air, tome II / G. Andréieff de Notbeck, 26/10/1978.

[41] Manuel de l'humidification de l'air, J.L. Cauchpin, th7687, pyc éditions livres.

[42] La vapeur mode d'emploi, Michele Raoult, pyc éditions livres.

[43] Climatisation conditionnement d'air, processus de traitement d'air, Jacques Bouteloup.

[44] Formulaire de froid, technique et vulgarisation, P.J. Rabin, 1980.

Résumé :

Le traitement de l'air est une nécessité vitale et implique des considérations :

➤ Les considérations sont particulièrement dans le cas où le facteur humain de production doit être pris en compte ; pour cela il est nécessaire d'assurer des conditions ambiantes propres au déroulement du procédé et dans le temps satisfaisantes pour le bien-être de l'organisme humain.

➤ En ce qui concerne les conditions hygrothermiques, il faut tenir compte du fait que tout système d'humidification de l'air utilise de l'eau qui favorise la multiplication des bactéries présentes dans l'air inhalé et qui influencent donc la santé humaine.

Etant donné l'énorme importance que joue le principe de réalisation des conditions de confort, nous proposons d'analyser des courbes de confort égal, en parlant de CTA et en tenant compte de nombreux facteurs tels que: la température (sèche et humide), la pression, la pureté de l'air extérieur et intérieur, le nombre d'occupants et leur métabolisme, l'éclairage, etc.

Les efforts des fabricants pour simplifier et améliorer ont abouti à des améliorations significatives.

ملخص:

تعتبر معالجة الهواء ضرورة حيوية وتتضمن اعتبارات:

➤ الاعتبارات خاصة في الحالة التي يجب أن يؤخذ فيها العامل البشري للإنتاج في الاعتبار؛ لهذا من الضروري ضمان الظروف المحيطة الخاصة بتقدم العملية وفي الوقت المناسب مرضية لرفاهية الكائن البشري.

➤ فيما يتعلق بظروف الرطوبة، يجب على المرء أن يأخذ في الاعتبار أن أي نظام لترطيب الهواء يستخدم الماء الذي يعزز تكاثر البكتيريا الموجودة في الهواء المستنشق والتي تؤثر بالتالي على صحة الإنسان.

نظرًا للأهمية الهائلة التي تلعبها مبدأ توفير ظروف الراحة، نقترح تحليل منحنيات الراحة المتساوية، والتحدث عن CTA ومراعاة العديد من العوامل؛ مثل: درجة الحرارة (جاف ورطب)، والضغط، ونقاء الخارج والهواء الداخلي، عدد المتفرجين وعملية الأيض لديهم، والإضاءة، إلخ.

أدت جهود الشركات المصنعة للتبسيط والتحسين إلى تحسينات كبيرة .

Abstract:

Air treatment is a vital necessity and involves considerations:

➤ The considerations are particularly in the case where the human factor of production must be taken into account; for this, it is necessary to ensure ambient conditions specific to the progress of the process and in time satisfactory for the well-being of the human organism.

➤ As far as hygronic conditions are concerned, it must be taken into account that any air humidification system uses water which promotes the multiplication of bacteria found in the inhaled air and which therefore influence the human health.

Given the enormous importance played by the problem of comfort conditions, we propose to analyze curves of equal comfort, speaking of CTA and taking into account many factors ;such as: the temperature (dry and wet), The pressure, The purity of the outside and inside air, The number of occupants and their metabolism, lighting, etc.

Efforts by manufacturers to simplify and improve have resulted in significant improvements.