



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO

-----ooo0ooo-----



Polytechnique,
Premier Partenaire
des Professionnels

FILIERE GENIE INDUSTRIEL

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE ET
PRODUCTIQUE

DEPARTEMENT : GENIE ELECTRIQUE

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du
diplôme d'Ingénieur en GENIE INDUSTRIEL**

**INSTALLATION ET EXPLOITATION D'UN
SYSTEME DE CONDITIONNEMENT D'AIR
DANS LE LABORATOIRE FROID
VONTOVORONA E.S.P.A**

Présenté et soutenu par : **RAKOTONAIVO MANANDAHATRA**
Tsiferanarivo Vahinimamy

Directeur de mémoire : **Monsieur RANAIVOSON Andriambala H.**
Maître de Conférences

PROMOTION 2010



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO

-----ooo0ooo-----



Polytechnique,
Premier Partenaire
des Professionnels

FILIERE GENIE INDUSTRIEL

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE ET
PRODUCTIQUE

DEPARTEMENT : GENIE ELECTRIQUE

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du
diplôme d'Ingénieur en GENIE INDUSTRIEL**

**INSTALLATION ET EXPLOITATION D'UN
SYSTEME DE CONDITIONNEMENT D'AIR
DANS LE LABORATOIRE FROID
VONTOVORONA E.S.P.A**

Présenté et soutenu par : RAKOTONAIVO MANANDAHATRA Tsiferanarivo Vahinimamy
Le 17 Mai 2011 au Bloc Technique Vontovorona

Président de Jury : Monsieur RANDRIAMAROSATA Josoa
Professeur à l'ESPA

Directeur de mémoire : Monsieur RANAIVOSON Andriambala H.
Maître de Conférences à l'ESPA

Examinateurs : Madame RATSIMBAZAFY Lantoharisoa
Maître de Conférences à l'ESPA

: Monsieur ANDRIAMANALINA William
Enseignant chercheur à l'ESPA

: Monsieur RAJAONARIVELO Jean André
Enseignant chercheur à l'ESPA

REMERCIEMENTS

Avant toutes choses, je tiens à remercier Dieu tout Puissant, grâce à sa bonté, sa bénédiction et la force ainsi que le courage qu'il m'a donné, j'ai pu terminer mes études que j'ai suivies au sein de l'ESPA.

J'adresse aussi mes humbles remerciements et mes sincères reconnaissances envers les personnes suivantes :

- ✿ Le Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique, Monsieur ANDRIANARY Philippe ;
- ✿ Les chefs de département au sein de la filière Génie industriel, Monsieur RAKOTOMANANA Charles Rodin et Monsieur RAKOTONIAINA Solofo Hery ;
- ✿ Au président de Jury, Monsieur RANDRIAMORASATA Josoa, Professeur à l'ESPA ;
- ✿ A mon Directeur de Mémoire, Monsieur RANAIVOSON Andriambala Hariniaina, Maître de conférences à l'ESPA, malgré ses lourdes et multiples responsabilités, a consacré son précieux temps à bien mener ses encadrements et me diriger sur la bonne voie à chaque fois qu'il le fallait grâce à ses valeureux conseils ;
- ✿ Aux examinateurs :
 - Madame RATSIMBAZAFY Lantoharisoa, Maître de conférences à l'ESPA ;
 - Monsieur ANDRIAMANALINA William, Enseignant chercheur à l'ESPA ;
 - Monsieur RAJAONARIVELO Jean André, Enseignant chercheur à l'ESPA ;

pour avoir consacré du temps aux remarques et à la correction de cet ouvrage malgré les lourdes et nombreuses tâches qu'ils doivent assumer ;

- ✿ A l'ambassade des Etats-Unis d'Amérique qui nous a fait dons de matériels pour la réalisation de ce mémoire et surtout à Monsieur Mike WILSON, General manager au sein de l'Ambassade pour son encadrement professionnel.

J'exprime également un grand remerciement à toute ma famille pour leur soutien moral et matériel durant l'exécution de ce présent travail, à tous mes amis pour le soutien dont ils m'ont prouvé pendant ces cinq longues années d'étude.

Enfin mes remerciements vont aussi à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la finalité du travail.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	1
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES	viii
LISTE DES SYMBOLES	x
INTRODUCTION	1
PARTIE I : CONTEXTE GENERAL	2
CHAPITRE I PRODUCTION DU FROID	3
I.1 Base de la thermodynamique appliquée au froid	3
I.1.1 Premier principe de la thermodynamique	3
I.1.2 Deuxième principe de la thermodynamique	3
I.2 Transfert thermique	4
I.2.1 Conduction	4
I.2.2 La convection	7
I.2.3 Le rayonnement	8
I.2.4 Intervention simultanée des trois modes de transfert	9
I.3 Les éléments constitutifs pour produire le froid	10
I.3.1 Compresseur	11
I.3.2 Condenseur	12
I.3.3 Détendeur	13
I.3.4 L'évaporateur	14
I.4 Fluides frigorigènes	15
I.4.1 Caractéristiques d'un fluide parfait	15
I.4.2 Les principaux fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes de production de froid	16
I.4.3 Codification des fluides frigorigènes	17
I.4.4 Diagramme enthalpique	18
CHAPITRE II CLIMATISATION	21
II.1 Définition	21
II.2 Principes	21
II.3 Objectif de la climatisation	22
II.4 Différentes types de climatisation	22
II.4.1 Climatisation centralisée (à air, à eau glacée)	22
II.4.2 Climatisation à VRV (Volume de Réfrigérant Variable)	23
II.4.3 Pompe à chaleur	23

II.4.4	Climatisation à chaudière et froid	23
II.4.5	Climatisation informatique.....	24
II.4.6	Les climatiseurs individuels	25
II.4.7	Conditionnement d'air.....	26
CHAPITRE III HEATING VENTILATION AND AIR CONDITIONING		28
III.1	Définition	28
III.2	Technique de l'HVAC	28
III.2.1	Système de chauffage.....	29
III.2.2	Système de ventilation	30
III.2.3	Système de climatisation	30
III.2.4	Propriété de l'air.....	31
III.3	Structure et fonction de l'installation de l'HVAC	32
III.3.1	Chauffage central (eau chaude).....	32
III.3.2	Ventilation	33
PARTIE II : ETUDE DE L'INSTALLATION ET APPLICATION.....		34
CHAPITRE I COOLAIR		35
I.1	Généralité.....	35
I.2	Caractéristiques	35
I.3	Les éléments constitutifs	36
I.3.1	Le compartiment supérieur.....	36
I.3.2	Le compartiment inferieur.....	37
I.4	Les apports thermiques	38
I.4.1	Données climatiques et géographiques indispensables	38
I.4.2	Hypothèse de calcul d'apport.....	39
I.4.3	Les apports internes.....	41
I.4.4	Les apports externes	42
I.4.5	Dimensionnement de la salle et les fenêtres vitrées	44
I.5	Application numérique	45
CHAPITRE II IMPLANTATION DE LA MACHINE.....		48
II.1	Caractéristiques du conduit d'air	48
II.2	Conduit d'aspiration	49
II.3	Conduit de diffusion d'air.....	49
II.4	Bouche d'aération.....	50
II.5	Conduit d'air repris.....	51
CHAPITRE III ETUDE DE MISE EN MARCHE		53
III.1	Principe	53
III.2	Branchemet électrique de l'installation.....	53
III.3	Charge en fluide frigorigène	54
III.4	Matériels nécessaires.....	55

III.5	Schéma fluidique de l'installation	57
III.6	Schéma électrique de l'installation	59
III.7	Fonctionnement de la partie de commande.....	62
CHAPITRE IV MANUEL DE MAINTENANCE		63
IV.1	Maintenance	63
IV.1.1	Définition	63
IV.1.2	Différents types de maintenance	63
IV.1.3	Organigramme de la maintenance.....	64
IV.1.4	Taches à exécuter lors de la maintenance	65
IV.2	Détection des pannes.....	67
CHAPITRE V ETUDE ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX		72
V.1	Notion sur l'environnement.....	72
V.2	Regards environnementaux	73
V.2.1	Définitions	73
V.2.2	EIE du projet	73
CONCLUSION		77
REFERENCES.....		78
ANNEXES.....		I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résistances thermiques superficielles des parois [m ² .K/W]	9
Tableau 2 : Classification de quelques FF	17
Tableau 3 : Paramètres de sortie	19
Tableau 4 : condition d'ambiance conseillée	28
Tableau 5 : Les dix états de l'air	32
Tableau 6 : Données météorologiques	39
Tableau 7 : Rayonnement solaire (paroi opaque et vitre)	40
Tableau 8 : Récapitulatif des apports thermiques de la salle	46
Tableau 9 : Caractéristiques du la laine de verre	49
Tableau 10 : Détection des pannes sur une installation frigorifique (source formulaire du froid).....	69
Tableau 11 : PAO de quelques fluides frigorigènes.....	75
Tableau 12 : GWP ₁₀₀ de quelques fluides frigorigènes.....	76

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Mur multicouche.....	9
Figure 2 : Tube multicouche	10
Figure 3 : Représentation d'un compresseur hermétique en coupe	11
Figure 4 : Fonctionnement d'un compresseur.....	11
Figure 5 : Fonctionnement d'un condenseur	12
Figure 6 : Condenseur à air	13
Figure 7 : Fonctionnement d'un détendeur	13
Figure 8 : Détendeur thermostatique à égalisation externe	14
Figure 9 : Représentation d'un diagramme enthalpique du R22.....	18
Figure 10 : Schéma de principe d'un mode de rafraîchissement	21
Figure 11 : Schéma de principe d'un mode de chauffage	21
Figure 12 : Système à détente direct	22
Figure 13 : Système à eau glacée	23
Figure 14 : Climatiseur produisant du chaud et du froid.....	24
Figure 15 : Climatisation informatique	24
Figure 16 : Climatiseur type window	25
Figure 17 : Split-système.....	26
Figure 18 : Centrale DAC	26
Figure 19 : Central DAV	27
Figure 20 : Principe d'un chauffage central	29
Figure 21 : Système de ventilation	30
Figure 22 : Diagramme psychométrique de l'air	31
Figure 23 : Chauffage central à eau chaude	32
Figure 24 : Installation de soufflage d'air, extraction et reprise d'air	33
Figure 25 : Groupe COOLAIR.....	35
Figure 26 : Salle du labo froid.....	44
Figure 27 : Fenêtre n°01	44
Figure 28 : Fenêtre n°02	44
Figure 29 Représentation en coupe du conduit d'air.....	48
Figure 30 : Dessin du conduit d'aspiration en 3D.....	49
Figure 31 : Dessin du conduit de diffusion d'air en 3D	50
Figure 32 : Soufflage en partie centrale du plafond	51
Figure 33 : Bouche d'aération	51
Figure 34 : Mécanisme de la VMC	52
Figure 35 : VMC	52
Figure 36 : Caractéristique du transformateur.....	54
Figure 37 : Schéma fluidique de l'installation	57
Figure 38 : Schéma électrique à la norme Américaine	59

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

A.A	Air ambiant
A.E	Air extrait
A.M	Air melangé
A.N	Air neuf
A.R	Air repris
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning
BP	Basse Pression
cal	Calorie
CFC	Chlorofluorocarbures
COP	Coefficient de performance
cste	Constante
DAC	Débit d'air constant
DAV	Débit d'air variable
E	Est
écl	Eclairage
EIE	Etude des Impacts Environnementaux
FF	fluide frigorigène
FLA	Full Load Amperage
GWP	Global Warming Potential
H	Horizontal
HCFC	Hydrochlorofluorocarbures
HFC	Hydrofluorocarbures
HP	Haute Pression
HR	Humidité Relative
HVAC	Heating, Ventilation and Air-Conditioning
K	Kelvin
labo	Laboratoire
LRA	Locked Rotor Amperage
m	Mètre
mach	Machine
max	Maximum

MC	Moto compresseur
MCA	Minimum Circuit Ampacity
min	Minimum
mm	Millimètre
NE	Nord Est
occ	Occupants
ODP	Ozone Depletion Potential
ONU	Organisation des Nations Unies
P	Pression
P.C	Personal Computer
PAC	Pompe à chaleur
PAES	Potentiel d'Action su l'Effet de Serre
PAO	Potentiel d'Action sur la couche d'ozone
Pe	Puissance effective
Pi	Puissance indiquée
PREE	Programme d'Engagement Environnemental
ra	Renouvellement d'air
ref	Refoulement
S	Sud
SE	Sud Est
Tasp	Température d'aspiration
Teb	Température d'ébullition
TRA	Température d'air ambiant
US	United States
VMC	Ventilation mécanique contrôlée
VRV	Volume de Réfrigérant Variable

LISTE DES SYMBOLES

Symboles	Significations	Unités
1/h_e	Résistance thermique superficielle externe	[m ² .K.W ⁻¹]
1/h_i	Résistance thermique superficielle interne	[m ² .K.W ⁻¹]
C_l	Charge thermique latente	[W]
C_s	Charge thermique sensible	[W]
dS	Déférence d'entropie	
e	Epaisseur	[m]
g_m	Facteur de rayonnement solaire	
g_v	Facteur de réduction	
h	Enthalpie	[KJ/kg]
h_{c_v}	Coefficient d'échange par convection	[W/m ² .K]
I	Intensité du rayonnement solaire	[W/m ²]
K	Coefficient de transmission thermique	[W/m ² °C]
K_u	Coefficient d'utilisation	[%]
L	Longueur	[m]
n_{écl}	Nombre éclairage	[lampes]
n_{mach}	Nombre machine	[machines]
n_{occ}	Nombre occupants	[personnes]
Nu	Nombre de Nusselt	
Ø	Diamètre	[mm]
P	Puissance de la lampe	[W]
Pr	Nombre de Prandlt	
Q	Quantité de chaleur	[kJ]
q_v	Débit d'air extérieur	[m ³ /h]
r_e	Rayon extérieur	[m]
Re	Nombre de Reynolds	
r_i	Rayon intérieur	[m]
S	surface	[m ²]
S_m	Surface du mur	[m ²]
S_v	Surface du vitrage	[m ²]

T	Température	
V	Volume	[m ³]
W	Travail	[J]
Δt	Durée	[s]
Δθ	Différence de température	[°C]
η	Rendement	[%]
θ	Température	[°C]
λ	Conductivité thermique	[W/m ² °C]
Φ	Flux	[W/m ²]
ω	Teneur en eau	[g eau/kg air sec]
σ	Constante de Stefan	[W/m ² °C]
ε_p	Facteur d'émission de surface	
θ_{ext}	Température extérieure	[°C]
θ_{int}	Température intérieure	[°C]

INTRODUCTION

Actuellement, l'étude et les recherches d'amélioration de la technologie de climatisation ne cessent de prospérer, et même on peut dire qu'elle s'effleure vraiment bien dans le monde.

L'avancement de la technologie et l'instabilité climatique ont poussé l'homme à modifier les conditions de son entourage pour la recherche du confort, dans un climat où on se sent toujours mieux, toujours à l'aise malgré les changements climatiques.

A cet effet, dans le but de l'achèvement de l'étude poursuivie dans la filière Génie industriel, il nous a été proposé de traiter un sujet intitulé « INSTALLATION ET EXPLOITATION D'UN SYSTEME DE CONDITIONNEMENT D'AIR DANS LE LABORATOIRE FROID VONTOVORONA E.S.P.A ».

Dans ce présent travail, on va projeter à installer un système de climatisation nommé COOLAIR dans le laboratoire froid en étudiant ses spécificités, ses caractéristiques tout en maîtrisant les différents fonctionnements.

Pour mieux cerner le sujet, ce mémoire se subdivise en deux grandes parties :

- Dans la première partie, on révisera les bases de la thermodynamique appliquée à la production du froid, les différents transferts thermiques liés à l'installation ainsi que des notions appliquées à la climatisation.
- La deuxième partie se consacrera à l'étude du COOLAIR et ses caractéristiques, à l'étude de son implantation dans le laboratoire froid et ses modes de mise en marche, on y fournira également un manuel d'utilisation du conditionnement d'air et enfin une étude d'impact environnementale liée à l'installation du COOLAIR.



PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

CHAPITRE I PRODUCTION DU FROID

I.1 Base de la thermodynamique appliquée au froid

La thermodynamique est la science qui étudie les comportements thermiques du corps et l'énergie de leurs transformations. Elle traite également des propriétés des systèmes dans lesquels interviennent des notions de température et de chaleur liées à des phénomènes mécaniques.

Elle est régie par deux principes fondamentaux :

I.1.1 Premier principe de la thermodynamique

Le premier principe est un bilan d'énergie stipulant la conservation d'énergie dans une transformation fermée, réversible ou non.

Ce principe s'énonce : « pour un cycle le travail des forces extérieures et la chaleur fournie ou cédée au milieu extérieur, sont dans un rapport constant » :

$$W + J.Q = 0 \quad (1)$$

Avec 1cal= 4.18J

Donc quelle que soit la transformation qui amène le système de l'état initial (x_1, y_1) à l'état final (x_2, y_2), la somme $W+J.Q$ demeure invariante.

$$W + J.Q = U \quad (2)$$

U = énergie interne du système

Pour une transformation à pression constante ou isobare: $\Delta W = -p * \Delta V$

on a : $W = -p(V_2 - V_1)$

$$J.Q - p(V_2 - V_1) = U_2 - U_1$$

$$J.Q = (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1)$$

avec $U + pV = h$

On aura la fonction enthalpique qui est aussi l'expression du premier principe :

$$J.Q = h_2 - h_1 \quad (3)$$

I.1.2 Deuxième principe de la thermodynamique

Le premier principe de la thermodynamique ne montre pas les sources de chaleur. Or on a deux sources de chaleur : une source chaude qui fournit une quantité de chaleur Q_1 et une source froide qui reçoit la quantité de chaleur q_2 .

En effet on a : $W + J.(Q_1 - q_2) = 0$

En posant comme rendement $R = \frac{Q_1 - q_2}{Q_1}$

Le principe de CARNOT qui est le second principe s'énonce : « le rapport de la quantité de chaleur échangée par un système avec la source chaude à la quantité de chaleur échangée avec la source froide est constant »

$$\frac{Q_1}{q_2} = \frac{Q'_1}{q'_2} = \dots = \text{constante} = \frac{T_1}{T_2} \quad (4)$$

Pour un cycle réversible, $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} = 0$

Avec $Q_2 = -q_2$, qui est la quantité de chaleur rendue par le système à la source froide.

En tenant compte des états initial et final, la relation $\int \frac{dQ}{T} = S_1 - S_2$ est appelée fonction entropie.

Le second principe s'écrit alors :

$$\int \frac{dQ}{T} = dS \quad (5)$$

I.2 Transfert thermique

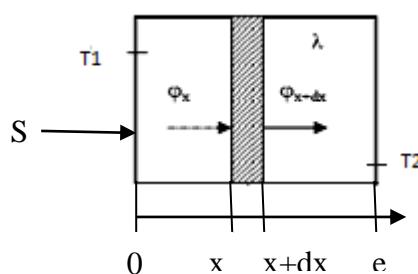
On appelle transfert thermique le processus par lequel l'énergie est échangée sous forme de chaleur entre des corps ou milieux qui ont des températures différentes.

Cet échange de chaleur peut se présenter en trois modes :

- La conduction
- La convection
- Le rayonnement

I.2.1 Conduction

La conduction est la propagation de la chaleur dans une matière, ou d'une matière à une autre quand les particules de la matière sont en contact direct, la chaleur se transmet par interaction moléculaire au travers les conducteurs thermiques.



Sa théorie se base sur l'hypothèse de **Fourier** :

$$\varphi = -\lambda \cdot S \cdot \frac{\delta T}{\delta x} \quad (6)$$

φ : flux thermique [W]

λ : conductivité thermique du matériau [W/m.°C]

e : épaisseur de la paroi [m]

T : température [°C]

S : surface [m²]

x : direction de la propagation [m]

I.2.1.1 Flux à travers un mur

a Mur homogène

L'expression du flux de conduction est donnée par :

$$\varphi_{cond} = \frac{\lambda}{e} \cdot S \cdot (T_1 - T_2) \quad (7)$$

T : température [°C]

λ : conductivité thermique du matériau [W/m.°C]

e : épaisseur du mur [m]

S: surface [m²]

φ : flux thermique [W]

b Mur multicouche

Un mur peut être formé par plusieurs murs simples accolés les uns par rapport aux autres ; dans tel cas l'expression du flux par conduction est :

$$\varphi_{cond} = \frac{(T_1 - T_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i \cdot S}} \quad (8)$$

e : épaisseur de la paroi [m]

S: surface [m²]

c Mur composite

En tenant compte que les parois ne sont pas isotropes le flux s'exprime par :

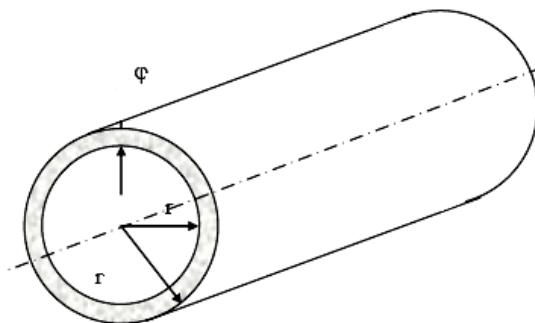
$$\varphi_{cond} = \frac{(T_1 - T_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i \cdot S_i}} \quad (9)$$

Cette expression a été déduite de la formule précédente.

I.2.1.2 Flux à travers un cylindre

a Cylindre creux homogène

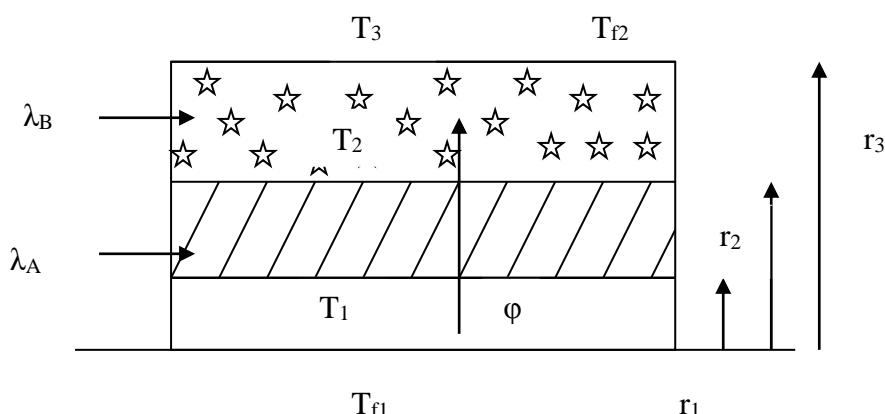
Dans le cas d'un cylindre creux homogène de conductivité λ , de rayon extérieur r_e , de rayon intérieur r_i , de longueur L , de température externe T_2 et de température interne T_1 ;
le flux de chaleur s'écrit:



$$\varphi_{cond} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot L \cdot (T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)} \quad (10)$$

b Cylindre creux hétérogène

Prenons un tube recouvert de nombreuses couches de matériaux différents où T_{f1} et T_{f2} sont les températures du en contact avec la face interne et la face externe. :



Pour le flux de conduction on aura :

$$\varphi_{cond} = \frac{(T_{f1} - T_{f2})}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \lambda_A L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi \lambda_B L}} \quad (11)$$

φ_{cond} : flux thermique [W]

T_f : température du fluide [°C]

λ_A et λ_B : conductivité thermique des matériaux A et B [W/m.°C]

r_1, r_2, r_3 : rayons [m]

L : longueur du tube [m]

I.2.2 La convection

On désigne, en général, par convection l'échange de chaleur qui s'effectue entre un corps solide et fluide en déplacement. La chaleur est véhiculée par le mouvement naturel ou mouvement forcé qui règne au cœur du fluide. L'expression de la convection est régie par la loi de NEWTON :

$$\varphi_{conv} = h_{cv} \cdot S \cdot \Delta T \quad (12)$$

avec :

φ_{conv} : flux thermique [W]

h_{cv} : coefficient d'échange par convection [W/m².K]

S : surface de contact du solide sur le fluide [m²]

ΔT : écart de température entre la surface du solide T_1 et le fluide éloigné de cette surface T_2 [K]

La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection dépend de la température, la nature, de la vitesse et des caractéristiques de la surface de contact.

I.2.2.1 Convection naturelle

Celle-ci est due par l'augmentation du volume du fluide et qui fait varier sa masse volumique ; c'est-à-dire que les molécules s'affaiblissent, mais par contre pour ceux des gaz chauds, les molécules remontent et c'est la source du phénomène de la convection naturelle.

a Plaque verticale isotherme

$$Nu = 0,678 \times Ra^{1/4} \times \left(\frac{Pr}{0,952 + Pr} \right)^{1/4} \quad (13)$$

b Les corrélations empiriques

$$Nu = \begin{cases} C_1 \cdot Ra^{1/4} & 10^4 < Ra < 10^9 \\ C_2 \cdot Ra^{1/3} & Ra > 10^9 \end{cases} \quad (14) \quad (15)$$

C_1, C_2 : coefficient dépendant de la nature du solide

I.2.2.2 Convection forcée

Dans la convection forcée la circulation du fluide est déclenchée par intervention d'un appareillage mécanique (ventilateur ou pompe).

a Plaque plane

- **Paroi isotherme ($T_p \neq T_\infty$)**

$$\text{En régime laminaire : } Nu = 0,664 \times R_e^{1/2} \times P_r^{1/3} \quad (16)$$

$$\text{En régime turbulent : } Nu = 0,036 \times R_e^{0,8} \times P_r^{1/3} \quad (17)$$

- **Paroi à flux imposé q_p [W/m²]**

$$Nu = \frac{q_p \times L}{(T_p - T_\infty) \times \lambda_f} = 0,6795 \times R_e^{1/2} \times P_r^{1/3} \quad (18)$$

b Conduite

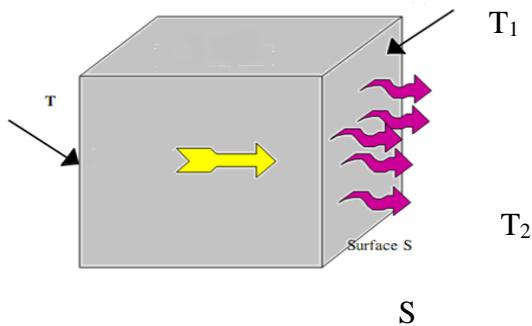
$$\text{Régime laminaire : } Nu = 3,658 \quad (19)$$

$$\text{Régime turbulent : } Nu = 0,023 \times R_e^{0,8} \times P_r^{1/3} \quad (20)$$

Le coefficient de convection se calcul d'une autre façon et on tiendra compte de la vitesse du vent quand les parois sont en contact direct avec l'air extérieur.

I.2.3 Le rayonnement

Le rayonnement se caractérise par un transfert d'énergie électromagnétique et qui peut s'effectuer même dans le vide. Le flux de chaleur émis par rayonnement entre deux corps noirs S1 à température T1 et S2 à température T2 est exprimé par :



$$\varphi_{ray} = \sigma \cdot \epsilon_p \cdot S \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (21)$$

σ : constante de STEFAN égal à $5,67 \cdot 10^{-8}$ [W / m².°C]

ϵ_p : Facteur d'émission de la surface

I.2.4 Intervention simultanée des trois modes de transfert

Dans la pratique les trois modes de transfert thermique agissent simultanément lors des échanges de chaleur ; la puissance thermique s'écrira :

$$\varphi = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{h_1} + \sum_1^n \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_2}} \quad (22)$$

$\frac{1}{h_1} + \sum_1^n \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_2}$ = K : coefficient global d'échange thermique

$1/h_1$ = résistance thermique superficielle interne, en fonction de l'intensité du mouvement d'air

$1/h_2$ = résistance thermique superficielle externe, en fonction de l'intensité du mouvement d'air

$\sum \frac{e_i}{\lambda_i}$ = Somme des résistances thermiques des différentes couches des matériaux constituant la paroi.

Côté externe de la paroi	$\frac{1}{h_2}$	Côté interne de la paroi	$\frac{1}{h_i}$
Cas où il est en contact avec l'air extérieur	0,03	Cas d'une chambre froide en ventilation mécanique	0,06
Cas où il est en contact avec un autre local	0,12	Cas d'une chambre froide en ventilation naturelle	0,12

Tableau 1 : Résistances thermiques superficielles des parois [m².K/W]

I.2.4.1 Mur multicouche

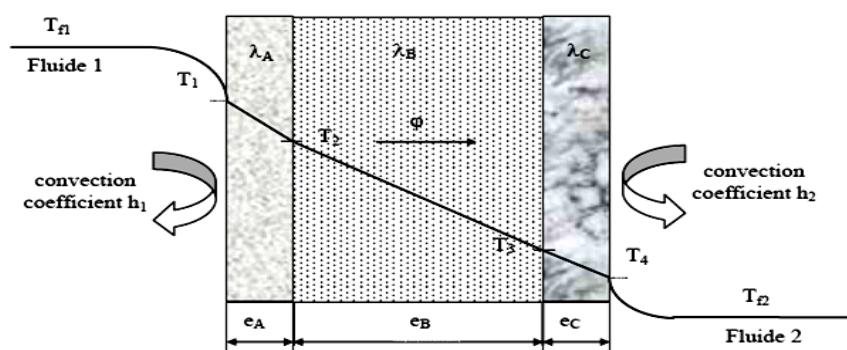


Figure 1: Mur multicouche

Pratiquement entre le collage des murs, il y a des micros couches d'air qui crée une résistance thermique R

$$\varphi = \frac{T_{f1} - T_{f2}}{\frac{1}{h_1 \cdot S} + \frac{e_A}{\lambda_A \cdot S} + R_{AB} + \frac{e_B}{\lambda_B \cdot S} + R_{BC} + \frac{e_C}{\lambda_C \cdot S} + \frac{1}{h_2 \cdot S}}. \quad (23)$$

I.2.4.2 Tube multicouche

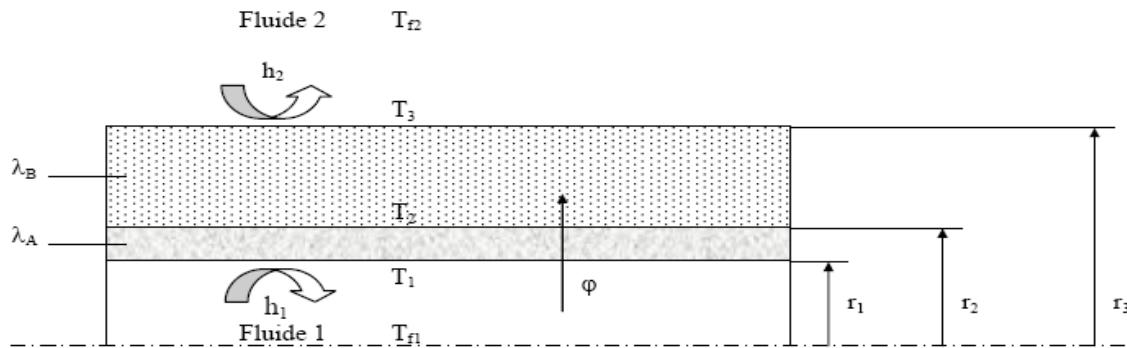


Figure 2 : Tube multicouche

On ne connaît ici que les températures T_{f1} et T_{f2} des fluides en contact avec les faces interne et externe ; h_1 et h_2 sont les coefficients de transfert thermique par convection.

$$\varphi = \frac{T_{f1} - T_{f2}}{\frac{1}{h_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L} + \frac{\ln \frac{r_1}{r_2}}{\lambda_A \cdot 2 \cdot \pi \cdot L} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{\lambda_B \cdot 2 \cdot \pi \cdot L} + \frac{1}{h_2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_3 \cdot L}}. \quad (24)$$

I.3 Les éléments constitutifs pour produire le froid

La production du froid est basée sur le principe de l'extraction de la chaleur du milieu à refroidir. Nombreux sont les procédés pour l'obtention du froid (vaporisation d'un liquide pur, sublimation de certains solides, détente d'un gaz comprimé.....).

Pour l'obtention du froid par détente d'un gaz comprimé, on utilise un fluide nommé « fluide frigorigène » qui parcourt un cycle fermé en plusieurs phases par l'intervention des:

- Compresseur
- Condenseur
- Détendeur
- Evaporateur

I.3.1 Comresseur

Le compresseur est un organe électromécanique qui sert à comprimer et à faire circuler le fluide frigorigène ; il aspire le fluide venu de l'évaporateur sous basse pression. Ensuite, il le comprime et le refoule à haute pression dans la conduite de refoulement vers le condenseur.

Il existe deux sortes de compresseurs à vapeur : le compresseur volumétrique et le compresseur centrifuge ou turbocompresseur.

Notons que dans la climatisation de grande puissance, on utilise souvent le compresseur centrifuge

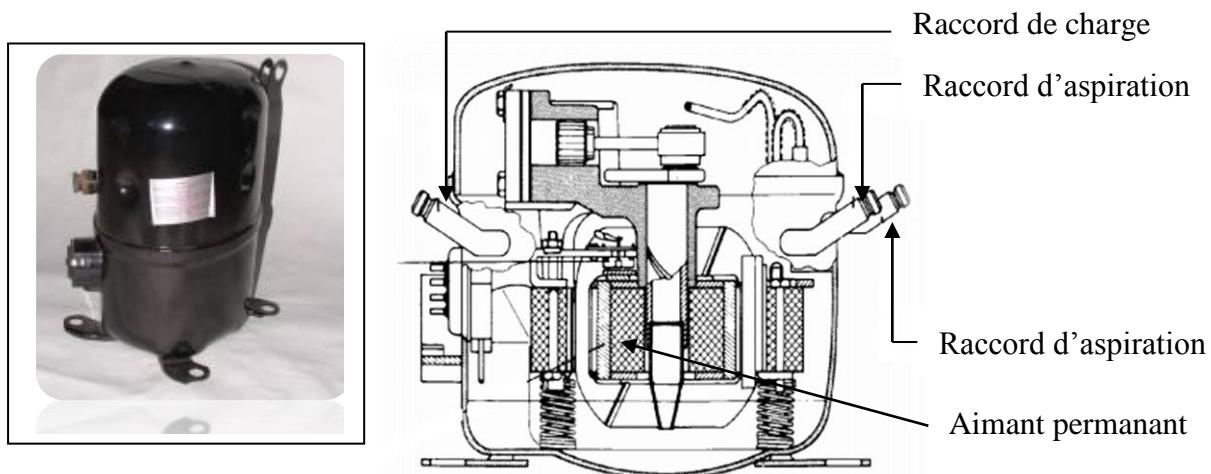


Figure 3 : Représentation d'un compresseur hermétique en coupe

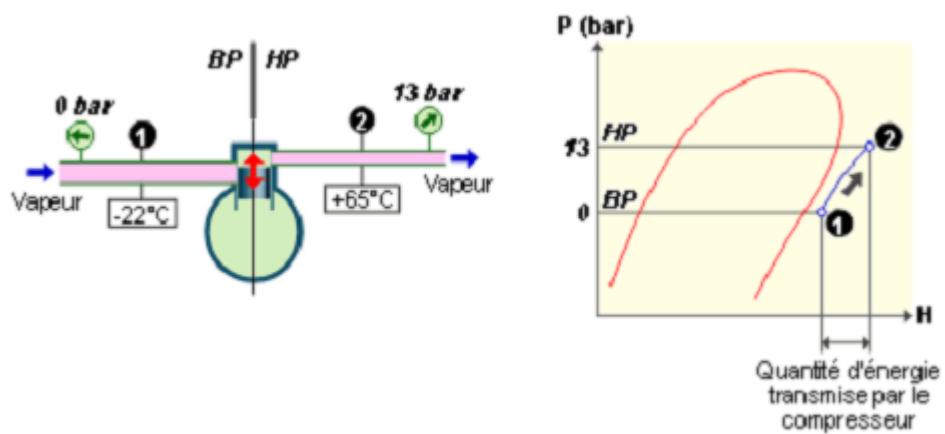


Figure 4 : Fonctionnement d'un compresseur

D'après la figure 2, le fonctionnement d'un compresseur se fait comme suit : il aspire le fluide à l'état gazeux à une température $-22[^\circ\text{C}]$ et à basse pression $0[\text{bar}]$, après

compression, il le refoule au condenseur à haute pression 13[bar] et à la température 65 °C. La quantité d'énergie transmise par le compresseur a pour valeur $W = H_1 - H_2$

I.3.2 Condenseur

C'est un échangeur thermique entre le fluide frigorigène et le fluide de refroidissement (air, eau,...), ce qui permet de faire passer le réfrigérant de l'état gazeux à l'état liquide.

On distingue deux grandes catégories de condenseur : le condenseur à air et le condenseur à eau ; mais le procédé de condensation de ces types de condenseurs reste le même :

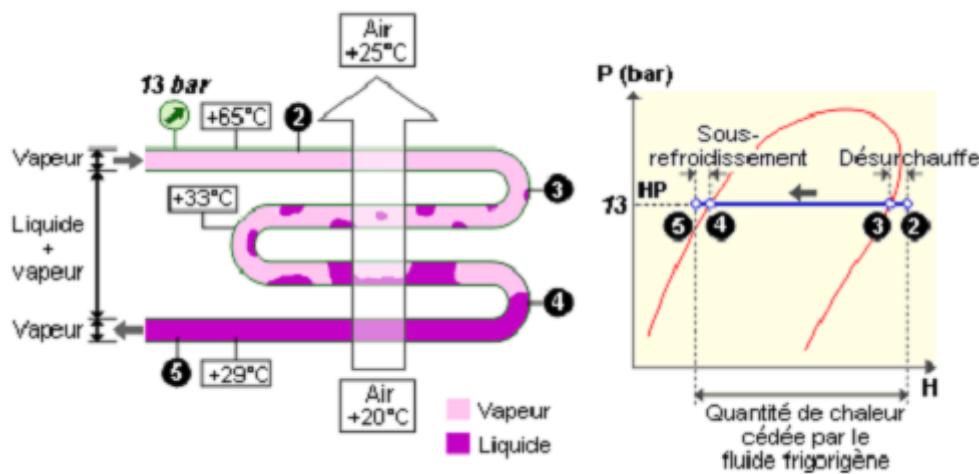


Figure 5 : Fonctionnement d'un condenseur

De cet exemple, le FF arrive au condenseur à pression 13 [bar] et température 65[°C] et le quitte à une température 29[°C]. Le fluide de refroidissement (l'air) augmente de température pendant le soufflage du condenseur 20[°C] à 25[°C]. Dans cette étape, la condensation se déroule en trois phases :

- La désurchauffe (2-3) : la température diminue de 65 à 33[°C] et la pression reste constante à 13[bar] ;
- La condensation (3-4) : transformation du fluide en liquide à la température 33 [°C] et pression 13[bar] ;
- Le sous-refroidissement (4-5) : le fluide se refroidit de 33 à 29[°C], on a un sous refroidissement de 4 K



Figure 6 : Condenseur à air

I.3.3 Détendeur

C'est un organe d'alimentation qui a pour rôle de régler le débit de liquide frigorigène admis à l'évaporateur tout en faisant chuter la pression de ce fluide de la haute pression à la basse pression. Pour assurer la détente des FF, on a plusieurs types de détendeur :

Le détendeur thermostatique, le plus utilisé, régule la surchauffe des vapeurs de fluide frigorigène à la sortie de l'évaporateur. Il assure ainsi une alimentation du compresseur en vapeur surchauffée ; le détendeur capillaire et le détendeur électronique.

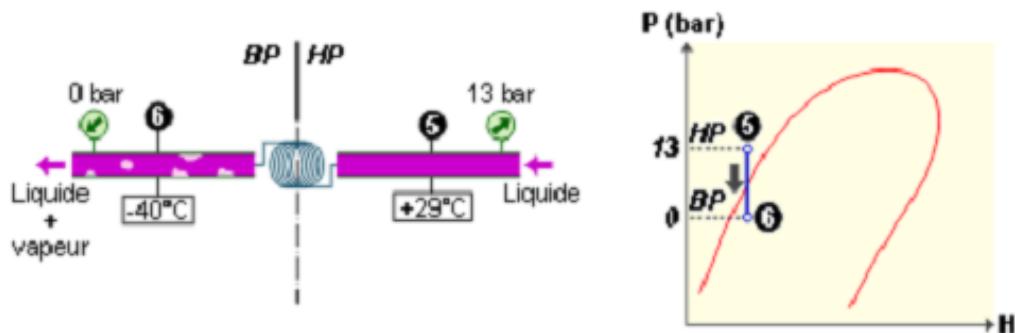


Figure 7 : Fonctionnement d'un détendeur

Arrivant au détendeur à une température de 29[°C] et à la pression 13 [bar], le fluide est exposé à une détente de pression jusqu'à 0 [bar] et une diminution de température jusqu'à -40[°C]. Lors d'une détente environ 20% du fluide se vaporise au sortie du détendeur, et notons aussi que la détente est isenthalpe $H_5 - H_6 = 0$

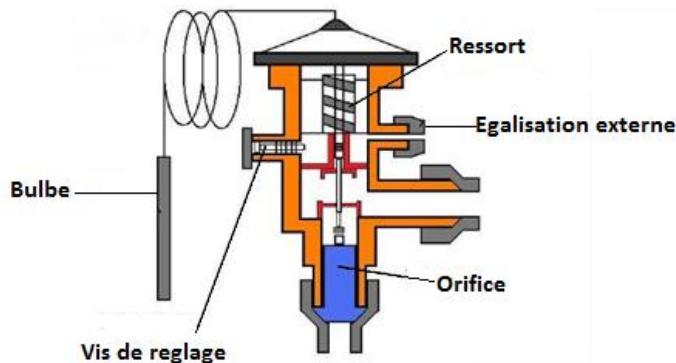


Figure 8 : Détendeur thermostatique à égalisation externe

I.3.4 L'évaporateur

C'est aussi un échangeur thermique entre le milieu à refroidir (air, eau) et le fluide frigorigène, qui se vaporise en prélevant la chaleur au milieu à refroidir

On distingue deux grands types d'évaporateurs suivant le fluide à refroidir:

- Les évaporateurs à eau
- Les évaporateurs à air

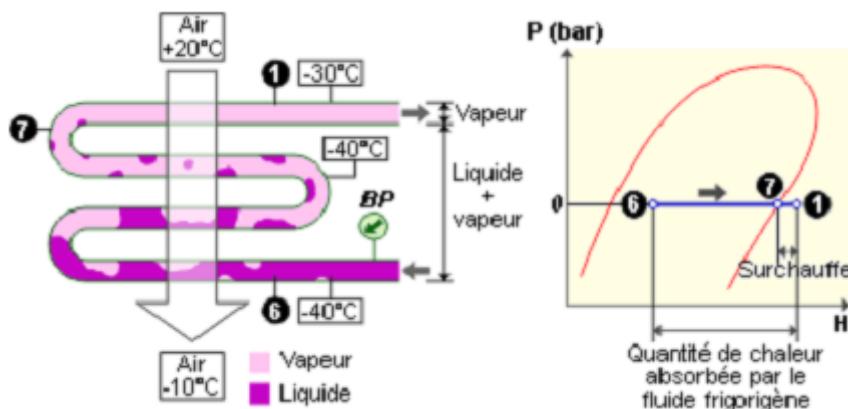


Figure 7 : Fonctionnement de l'évaporateur

- Le fluide arrive au sein de l'évaporateur à basse pression et à une température $-40[^\circ\text{C}]$, et qui se vaporise à cette même condition. Au point 7, le fluide est à l'état vapeur et subira une surchauffe 4 à 7K dans (7-1) avant d'être aspiré par le compresseur.

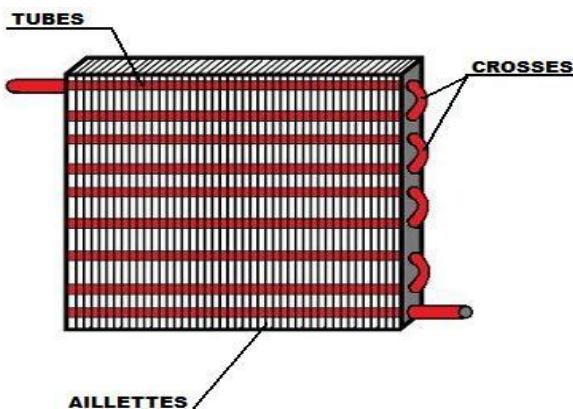


Figure 8 : Evaporateur à air

I.4 Fluides frigorigènes

Ce sont des substances ou des mélanges de substance utilisées dans le circuit frigorifique qui servent par leur circulation dans les conduites à abaisser les températures même au-dessous de -40°C.

I.4.1 Caractéristiques d'un fluide parfait

Un fluide est dit parfait s'il présente les qualités suivantes :

- Chaleur latente de vaporisation très élevée
- Point d'ébullition, sous la pression atmosphérique, suffisamment bas compte tenu des conditions de fonctionnement désirées (température d'évaporation)
- Faible rapport entre les pressions d'aspiration et de refoulement
- Faible volume massique de la vapeur saturée (possibilité de réduire les dimensions du compresseur et de la tuyauterie à utiliser)
- Température critique très élevée
- Pas d'action sur le lubrifiant employé conjointement avec le fluide
- Stabilité de la composition chimique dans les conditions de fonctionnement de la machine frigorifique
- Pas d'action sur les éléments composants le circuit (métaux, joints)
- Non explosif et non inflammable en mélange avec l'air
- Aucun effet sur la santé
- Sans action sur la denrée à conserver
- Très faible odeur désagréable
- Fuite facile à détecter ou à localiser visuellement

- Pas d'affinité pour les constituants de l'atmosphère
- N'a pas un coût élevé et son approvisionnement est facile
- Pas d'action sur la couche d'ozone ODP = 0
- Pas d'action sur le réchauffement planétaire GWP=0

I.4.2 Les principaux fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes de production de froid

Les fluides frigorigènes peuvent être classés au sein de différentes familles compte tenu de leurs propriétés physico-chimiques :

Nom	Formule	Désignation
COMPOSES INORGANIQUES		
Ammoniac	NH ₃	R717
Eau	H ₂ O	R718
Dioxyde de carbone	CO ₂	R744
HYDROCARBURES		
Cyclopropane	C ₃ H ₆	RC270
Propane	C ₃ H ₈	R290
Butane	C ₄ H ₁₀	R600
Isobutane	I-C ₄ H ₁₀	R600a
Propylène	C ₂ H ₆	R170
CFC		
Trichlorofluorométhane	CCl ₂ F	R11
Dichlorodifluorométhane	CCl ₂ F ₂	R12
1.1.2-Trichloro-1.2.2trifluoroéthane	CCl ₂ F-CClF ₂	R113
Chloropentafluoroéthane	CClF ₂ -CF ₃	R115
R22+R115	/	R502
HCFC		
Dichlorofluorométhane	CHCl ₂ F	R21
Chlorodifluorométhane	CHClF ₂	R22
2.2-Dichloro-1.1.1-trifluoroéthane	CF ₃ -CHCl ₂	R123
2-Chloro-1.1.1.2-tetrafluoroéthane	CF ₃ -CHClF	R124
1-Chloro-1.1-difluoroéthane	CClF ₂ -CH ₃	R142b
R22+R152a+R124	/	R401A

R22+R125+R290	/	R402B
R22+R143a+R125	/	R408A
R22+R124+R142b	/	R409A
HFC		
Difluorométhane	CH ₂ F ₂	R32
Pentafluoroéthane	CHF ₂ -CF ₃	R125
1.1.1.2-Tetrafluoroéthane	CH ₂ F-CF ₃	R134a
1.1.1-Trifluoroéthane	CH ₃ -CF ₃	R143a
1.1-Difluoroéthane	CH ₂ -CHF ₂	R152a
R125+R143a+R134a	/	R404A
R32+R125+R134a	/	R407C
R32+R125	/	R410A
R125+R143a	/	R507

Tableau 2 : Classification de quelques FF

I.4.3 Codification des fluides frigorigènes

La codification est numérique et se réfère à différents critères ; pour les corps purs on se réfère grâce à ses formules chimiques, et pour les mélanges azéotropes (série des R500) et les mélanges zéotropes (série des R400), ils sont classés par ordre d'apparition.

Pour les séries de R10 à R50, R100, R200

Chiffre des unités : nombre d'atomes de fluor

Chiffre des dizaines : nombre d'atomes d'hydrogène plus 1

Chiffre des centaines : nombre d'atomes de carbone moins 1

La lettre minuscule en fin des numérotations indique une asymétrie plus (b) ou moins (a) grande de la molécule

R22 : 2 atomes de fluor ; 1 atome d'hydrogène ; 1 atome de carbone

R134a : 4 atomes de fluor ; 2 atomes d'hydrogène ; 2 atomes de carbone ; a : molécule asymétrique

Pour les mélanges azéotropes série des R500 : ils sont classés par ordre d'apparition : R500, R501, R502.....

Pour les mélanges zéotropes série des R400 : ils sont classés suivant ses apparitions : R407, R408....Et dans le cas des mélanges de corps purs identiques mais dont les proportions sont différentes, en fin de leur numérotation on associe une lettre majuscule (A, B, C), comme R407A, R407B, R407C

I.4.4 Diagramme enthalpique

Le diagramme enthalpique est utilisé fréquemment dans les industries de production de froid pour représenter le cycle de transformations subies par le fluide frigorigène. Ce diagramme nous permet de lire directement les enthalpies massiques mise en jeu.

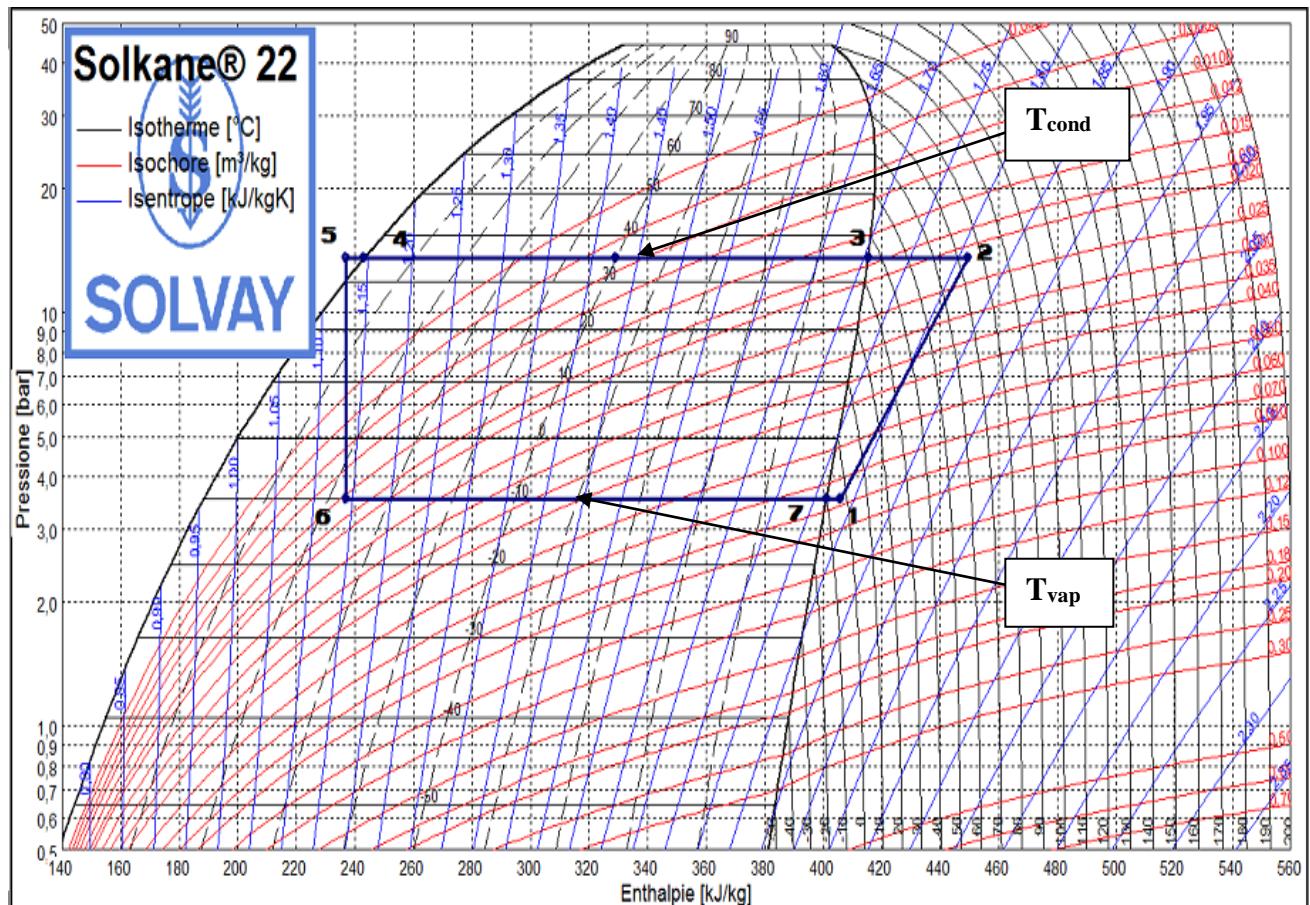


Figure 9 : Représentation d'un diagramme enthalpique du R22

Analyse du diagramme de Mollier

Sur le diagramme enthalpique, le fluide frigorigène R22 subit les transformations suivantes :

- (1-2) : Compression polytropique. il y a élévation de la température : $T_1 > T_2$
- (2-3) : Désurchauffe
- (3-4) : Condensation complète : il y a évacuation de la chaleur accumulée vers le milieu extérieur
- (4-5) : Sous-refroidissement
- (5-6) : Détente isenthalpique
- (6-7) : Vaporisation
- (7-1) : Surchauffe

On peut constater que :

La température de condensation : 35[°C],

Température de vaporisation :-10[°C]

Surchauffe : 7K

Sous-refroidissement : 5K

Rendement isentropique : 0,8

Puissance frigorifique : 1KW

Paramètres de sortie selon le logiciel Solkane 6.0.1

	p	t	v	h	s
Point	bar	°C	dm³/kg	kJ/kg	kJ/kgK
1	3,55	-3,00	67,53	405,99	1,7839
2s	13,55	63,75	20,47	440,76	1,7839
2	13,55	74,07	21,50	449,44	1,8093
3	13,55	74,07	21,50	449,44	1,8093
3'	13,55	35,00	17,25	415,31	1,7049
3''4'm	13,55	35,00	N.N.	329,22	1,4256
4'	13,55	35,00	0,87	243,14	1,1462
4	13,55	30,00	0,85	236,75	1,1258
5	3,55	-10,00	15,43	236,75	1,1411
56''m	3,55	-10,00	N.N.	318,92	1,4533
6''	3,55	-10,00	65,18	401,09	1,7655
6	3,55	-3,00	67,53	405,99	1,7839

Tableau 3 : Paramètres de sortie

(Source Solkane 6.0)

p : pression

t : température

v : volume massique

h : enthalpie

s : entropie

x : titre en vapeur

La température de refoulement 74,07 °C est inférieure à la température critique du FF R22 égale à 96,15 °C.

Autres valeurs :

Evaporateur : 1,00 kW

Liquéfacteur : 1.26 kW

Compresseur : 0.26 kW

Rapport de compression : 3,82

Différence de pression : 10 bar

Débit massique : 5.909 g/s

Débit volumique (à l'aspiration) : 1.44 m³/h

Capacité volumétrique : 2506 kJ/m³

COP : 3,89

Pression critique du R22 : 49,9 bar

Volume critique : 1,909 dm³/kg

CHAPITRE II CLIMATISATION

II.1 Définition

La climatisation est un ensemble de procédé visant à la création et le maintien d'un air ambiant pour un lieu déterminé ; soit pour des raisons de confort, soit pour des raisons techniques, soit pour des raisons médicales.

II.2 Principes

Les principes de la climatisation sont fondés sur le transport de chaleur d'un point vers un autre. Pour ce déplacement de chaleur, on utilise, en général, un fluide appelé réfrigérant. Pour le mode rafraîchissement, le réfrigérant traverse les unités intérieures afin d'absorber la chaleur dans la pièce. Il passe alors à l'état gazeux et est transporté vers l'unité extérieure par l'intermédiaire des conduites pour évacuer la chaleur accumulée à l'extérieur ; et le réfrigérant effectuera un cycle fermé.

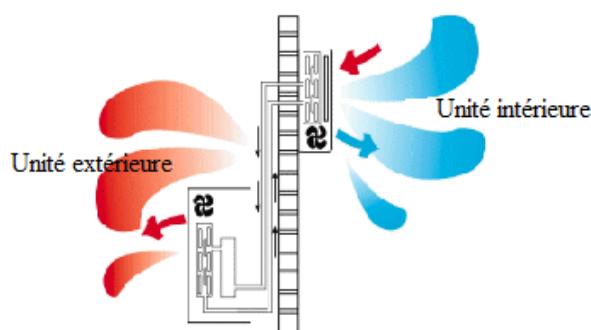


Figure 10 : Schéma de principe d'un mode de rafraîchissement

Pour le mode chauffage, le cycle se reverse pour le réfrigérant, ainsi, l'unité intérieure qu'on a évoqué précédemment prenne la place de l'unité extérieure ; on dit que le système est réversible.

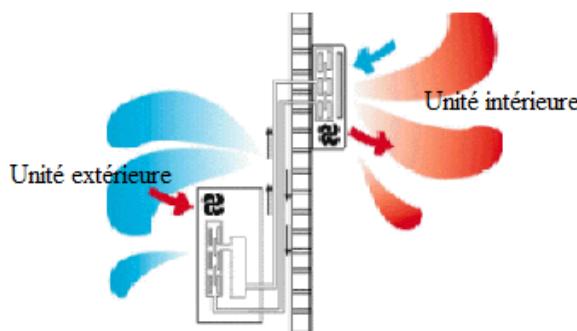


Figure 11 : Schéma de principe d'un mode de chauffage

II.3 Objectif de la climatisation

La climatisation dans les locaux d'habitation a pour but d'offrir une sensation de bien être et de confort pour les personnes qui y habitent, elle a pour rôle d'assurer la qualité de l'air par renouvellement d'air neuf hygiénique et la filtration de l'air soufflé. Les paramètres à s'assurer sont donc : la température, l'humidité, la pureté, la vitesse de soufflage. Cependant, la climatisation installée pour des raisons techniques et médicales ne priviliege pas le confort des occupants.

II.4 Différentes types de climatisation

II.4.1 Climatisation centralisée (à air, à eau glacée)

Cette méthode consiste à préparer de l'air froid et qui sera ensuite envoyé vers les gaines de distribution ;

On distingue deux modes de procédure:

- Soit le fluide frigorigène refroidit l'air en passant directement dans la batterie de refroidissement qui est **le système à détente directe**. Ici l'évaporateur prend place de la batterie froide dans le caisson de climatisation.

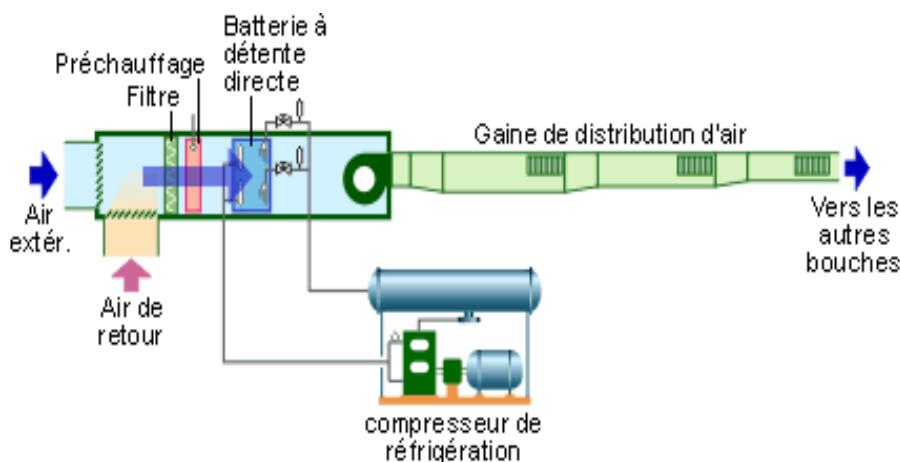


Figure 12 : Système à détente directe

- Soit l'installation frigorifique prépare de l'eau froide à +6°C (généralement appelée "eau glacée"), et l'eau alimentera la batterie de refroidissement du caisson de traitement d'air.

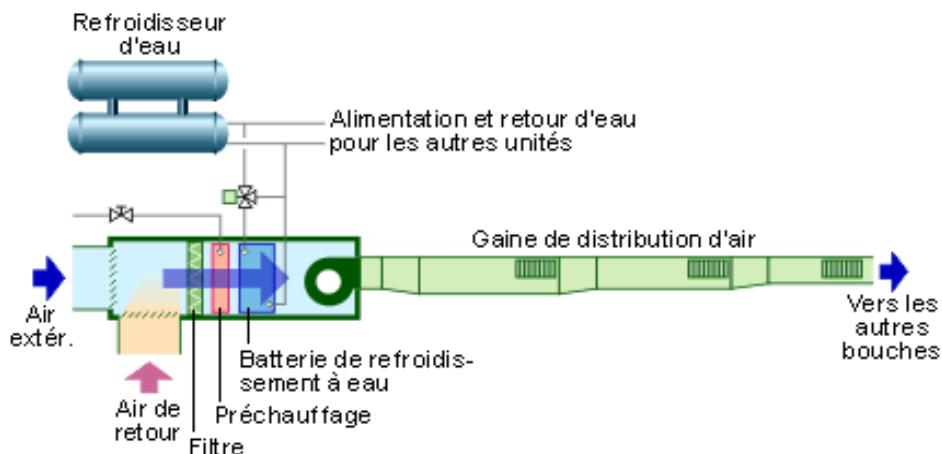


Figure 13 : Système à eau glacée

II.4.2 Climatisation à VRV (Volume de Réfrigérant Variable)

La climatisation VRV est l'un des nouveaux systèmes de climatisation en vogue, elle fonctionne suivant la technologie « INVERTER ». La particularité du VRV est régie par sa possession d'un compresseur à vitesse variable, qui s'active en fonction de la puissance demandée afin de maintenir une température constante dans les locaux. Son fonctionnement comprend trois types :

- Type simple : pour froid seulement
- Type réversible : pour obtenir du chaud et du froid de manière non simultanée (VRV II)
- Type à récupération d'énergie : pour obtenir du chaud et du froid simultanément (VRV III)*

II.4.3 Pompe à chaleur

Cet appareil fonctionne réversiblement au besoin nécessaire : soit pour une production de froid, soit pour une production de chaleur. Or, cette technologie est souvent destinée pour le chauffage de piscine.

II.4.4 Climatisation à chaudière et froid

L'instauration de ce type de climatisation est due grâce à la combinaison de l'installation du groupe froid et de la chaudière. Ici, en-dessous on peut voir un schéma de principe d'une chaudière à condensation et d'un groupe froid produisant de l'eau glacée au niveau de l'évaporateur.

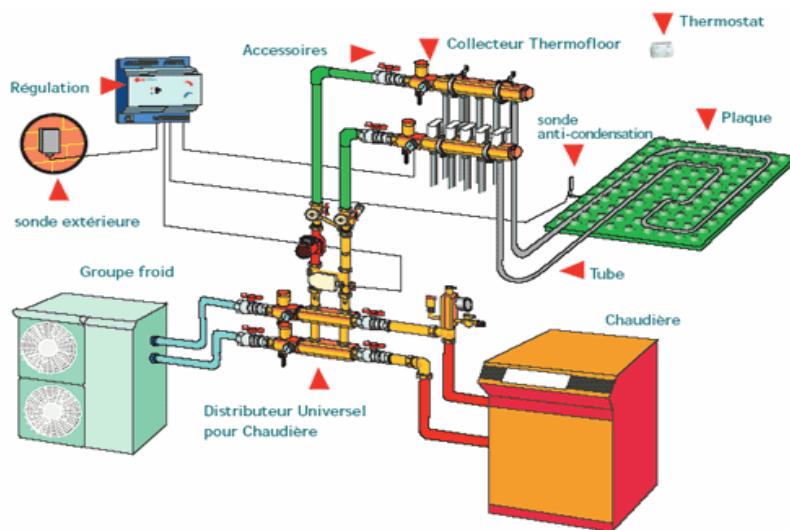


Figure 14 : Climatiseur produisant du chaud et du froid

II.4.5 Climatisation informatique

L'armoire de climatisation comprend deux compartiments : un compartiment flux d'air et un compartiment technique juxtaposés. Face à l'armoire, le compartiment technique peut être à gauche ou à droite.

Ces armoires sont rarement destinés pour la climatisation en confort mais souvent utilisées dans les climatisations des locaux techniques (salles d'informatiques, usine, etc.). Elles se différencient par ses types de condenseur (à air intégré, à air séparé, à eau associé à une tour de refroidissement)

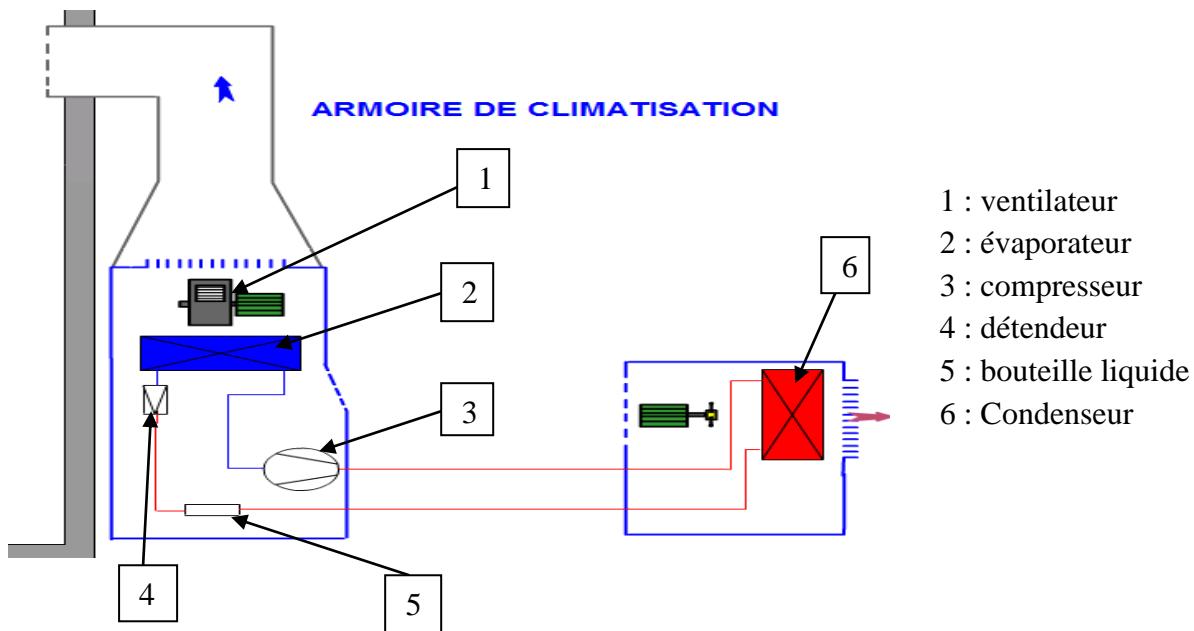


Figure 15 : Climatisation informatique

II.4.6 Les climatiseurs individuels

II.4.6.1 Climatiseur monobloc

a Climatiseur type window

Ce système est le plus utilisé dans les climatisations des locaux ; ce sont des climatiseurs de puissance de 2 à 8 [kW]. Son installation se fait comme suit :

La moitié de l'appareil est introduite dans le local (côté évaporateur) et l'autre partie reste à l'extérieur (coté condenseur).

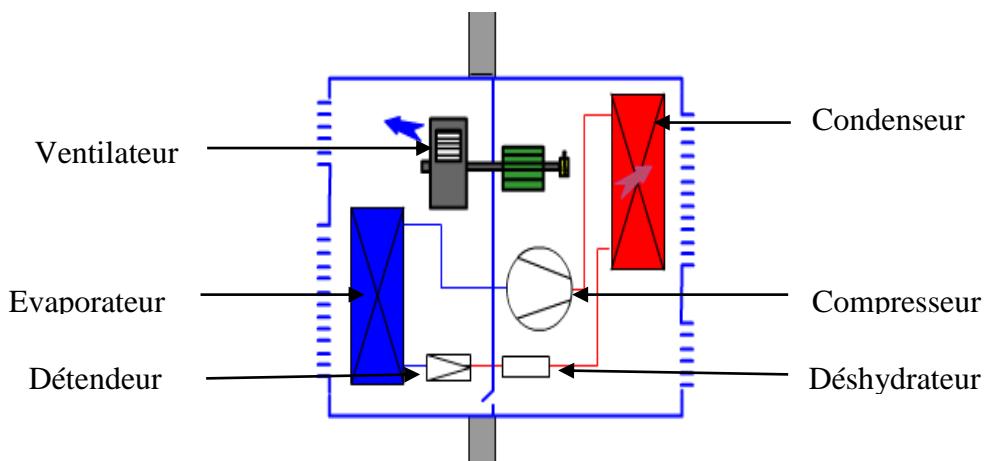


Figure 16 : Climatiseur type window

b Climatiseur monobloc à eau ou air

Il est dit monobloc à eau quand le condenseur est refroidit par l'eau ; et appelé monobloc à air lorsque celui-ci est refroidit par l'air (air extérieur).

II.4.6.2 Climatiseur split système ou à élément séparé

Ces climatiseurs sont constitués par deux unités distinctes suivantes :

Une unité externe (groupe de condensation) et celle de l'interne (traitement d'air) ; La liaison de ces appareils sont assurées par des tubes frigorifiques préchargés en usine munis de vanne à opercules.

Grâce à ce type d'installation, elle est moins bruyante que celle du window.

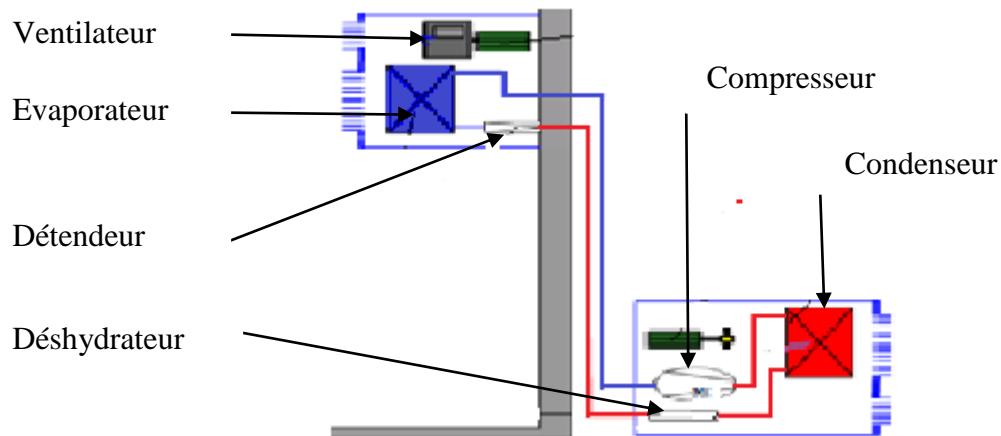


Figure 17 : Split-système

II.4.7 Conditionnement d'air

Le système à conditionnement d'air est un mode de climatisation où on n'utilise que de l'air. Ce type de climatisation est appelé système « tout air ou à air total ». On peut trouver deux types de système de climatisation, qui sont :

II.4.7.1 Système à débit d'air constant

La distribution d'un débit d'air primaire est régulièrement constante, où la température et l'humidité varient en fonction de charges calorifiques des pièces à climatiser. Ces systèmes de climatisation distribuent directement l'air primaire froid dans les pièces par l'intermédiaire des bouches de soufflage. Les centrales de traitement d'air est "à détente directe", où l'évaporateur de la machine frigorifique est directement placé dans le caisson de traitement d'air.

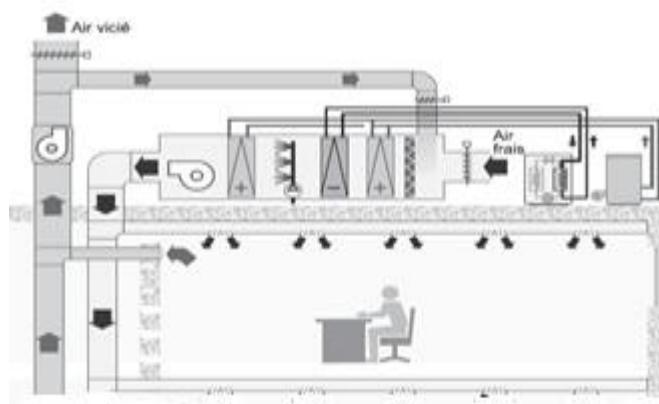


Figure 18 : Centrale DAC

II.4.7.2 Système à débit d'air variable

Dans cet autre système l'air soufflé est à température constante mais comme son nom l'indique le débit- volume d'air diffusé et le réseau de conduit à vitesse peut être variable. Il est formé par :

- Une centrale de traitement d'air unizone,
- Un réseau de conduits à basse vitesse (2 à 6 m/s) ou à moyenne vitesse (6 à 15 m/s),
- Des diffuseurs d'air terminaux, permettant une bonne répartition de l'air soufflé. Les bouches de soufflage sont choisies par rapport à la plage de débits possibles.

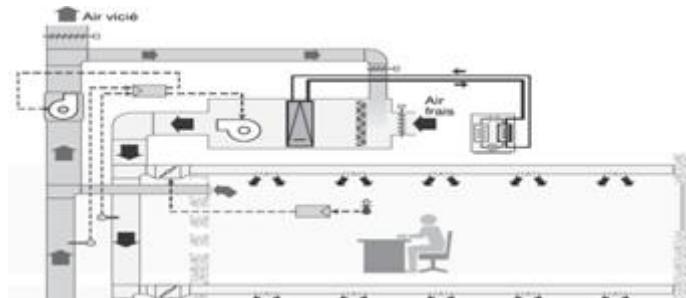


Figure 19 : Central DAV

CHAPITRE III HEATING VENTILATION AND AIR CONDITIONING

III.1 Définition

L'HVAC , en anglais Heating, Ventilation and Air Conditioning, est un sigle pouvant désigner « chauffage, ventilation, et climatisation ». La combinaison de ces trois systèmes permet à la fois le contrôle de l'alimentation et l'évacuation de l'air à l'intérieur d'espaces fermés, afin d'éliminer les odeurs et de fournir suffisamment d'oxygène aux occupants.

La classification de l'installation de l'HVAC se fait en deux sous domaines :

- L'installation de confort, qui groupe, tous ce qui concerne les installations de création et de maintien automatique d'un climat ambiant agréable.
- L'installation industrielle, ceux, qui génèrent et maintiennent des conditions ambiantes pour des raisons techniques.

Utilisation des locaux	Condition d'ambiance possible en hiver	
	Température air ambiant TRA	Humidité air ambiant % rH
Séjour, bureaux	20°C	40-50%
Chambres à coucher	16°C	40-60%
Salles de bain	23°C	Très élevée à courte durée
Gymnase	15°C	75%
Piscine	16°C	65%
Chambres froides	Jusqu'à -30°C	95%
Locaux de fabrication industrielle		
Textile	18-25°C	90-95%
Tabac	20-35°C	90-60%
Papier	20-30°C	90-60%
Etable	12°C	90%

Tableau 4 : condition d'ambiance conseillée

III.2 Technique de l'HVAC

Dans la technique de l'HVAC, certaines conditions doivent être satisfaites. Pour le confort thermique, la technique se repose dans la bonne manipulation des paramètres suivants :

Température de l'air	Réchauffer, refroidir
Humidité de l'air	Humidifier
Qualité de l'air	Aérer, ventiler
Hygiène de l'air	Filtrage

Pour ceux des raisons techniques, il faut maintenir à niveau constant la température ambiante, l'humidité de l'air et la qualité de l'hygiène de l'air.

Enfin, l'économie d'énergie constitue un facteur important dans la technique de l'HVAC.

III.2.1 Système de chauffage

Le chauffage est utilisé souvent pour fonction de produire de la chaleur et le fait de chauffer l'habitat de l'homme en hiver. Elle a pour tâche de réguler l'émission de chaleur du corps humain pendant la saison froide. Le chauffage n'influence que la température de confort, dont la température de l'air et la température moyenne de rayonnement (y compris les surfaces de chauffage).

Le chauffage peut être aussi classifié en deux types : le chauffage individuel et le chauffage central.

Pour le premier, il était le plus exploité par les hommes (cheminée, poêle ouverte) mais plus tard, plusieurs facteurs limitaient les utilisateurs à le pratiquer.

Dans le chauffage central, il y a la production de chaleur et les fluides caloporteurs qui transmettent la chaleur dans les locaux et, ils sont utilisés selon la grandeur des locaux à chauffer.

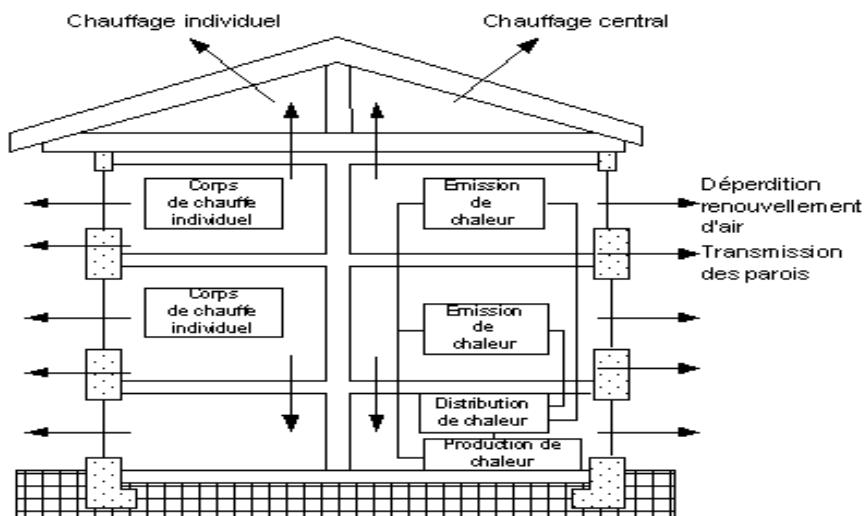


Figure 20 : Principe d'un chauffage central

III.2.2 Système de ventilation

La ventilation est un système de soufflage et/ou extraction de l'air de façon mécanique où fait circuler l'air. Dans la technique de l'installation de la ventilation, quatre paramètres peuvent apparaître : chauffer, refroidir, humidifier, déshumidifier.

Plus les paramètres à considérer sont nombreux, plus la technicité de l'installation à exécuter est compliquée ; la consommation énergétique de l'installation est alors en rapport direct. De plus, Certains paramètres peuvent aussi être élevés ce degré de technicité, comme par exemple, le lieu de traitement de l'air (central ou local), les pressions (installations à basse pression, à haute pression), la capacité d'adaptation de l'installation à chaque situation, la possibilité de régulation individuelle, le mode de nettoyage de l'air.

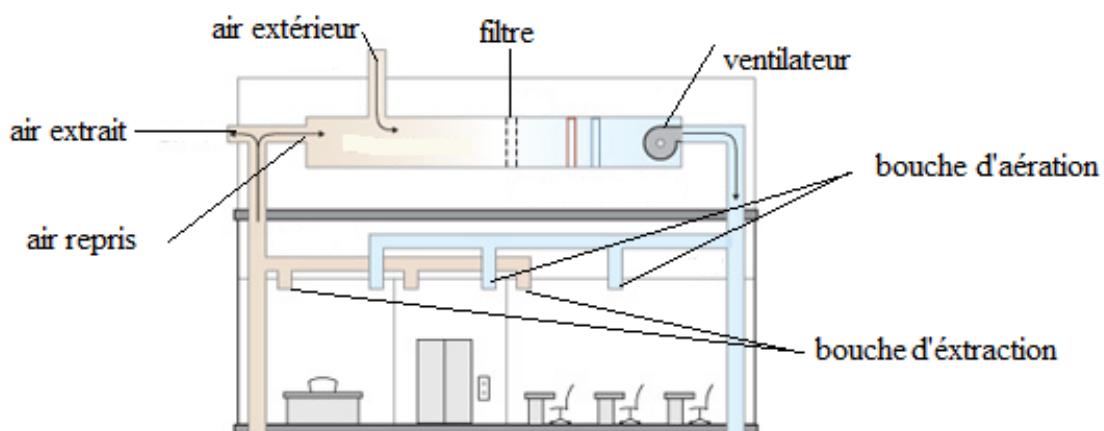


Figure 21 : Système de ventilation

III.2.3 Système de climatisation

Concernant le système de climatisation à part ce qu'on a vu précédemment il a pour fonction de bien traité l'air dans le système HVAC. Les critères à voir sont :

Humidité de l'air : Quand l'air est trop sec, les particules de poussières dans l'air irriteront nos muqueuses bien plus que si l'humidité était normale. Par contre, l'air trop humide nous empêche d'évacuer librement la partie de transpiration de notre émission calorifique totale.

Mouvement de l'air : Un mouvement trop rapide de l'air est ressenti par l'homme comme étant du « froid » ou « du courant d'air ».

Pureté de l'air : La fumée, la poussière et l'air vicié provoque un malaise (nausée).

Teneur en oxygène : Si la teneur en oxygène de l'air est trop basse, le niveau de dioxyde de carbone (CO_2) devient trop élevé. Cela peut se produire dans des pièces bondées, généralement aussi surchauffées et peut provoquer des somnolences, des nausées et des évanouissements.

Degré d'ionisation : La charge électrique de l'air, particulièrement avant et après des orages, des fœhns (vents chauds soufflant sur les montagnes), etc. influence fortement le sentiment de bien-être et provoque nervosité, problèmes de circulation du sang, etc.

III.2.4 Propriété de l'air

Comme nous avons vu précédemment l'air distribuer doit être saine et bien traité, L'air est un élément constitué par un mélange d'oxygène (21%), d'azote (78%), de gaz carbonique (0.03%) et de quelques gaz rares (0.97%); la quantité de vapeur d'eau contenu dans l'air atmosphérique est pratiquement faible où ils sont exprimés en [g/kg].

Dans l'étude et les calculs appliqués pour l'air dans l'HVAC, la façon la plus rapide et efficace est l'utilisation du diagramme psychométrique de l'air humide ; de plus celui-ci nous permet de définir 10 états de l'air.

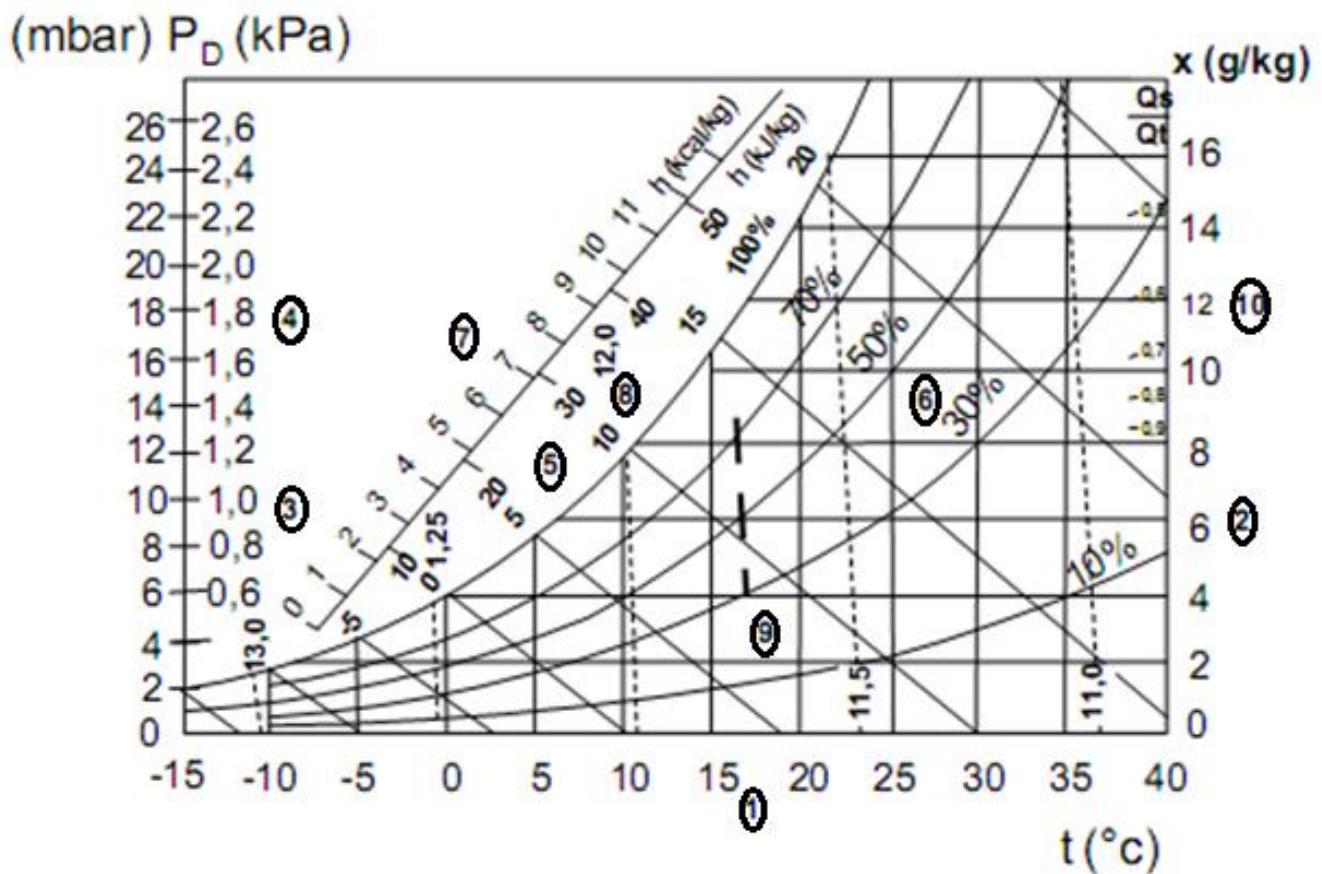


Figure 22 : Diagramme psychométrique de l'air

1	Température sèche	tsic	°C
2	Humidité absolue	X	g/kg
3	Pression de vapeur partielle	PD	mbar ou kPa
4	Pression de saturation	psat	mbar ou kPa
5	Température de saturation (temps de point de rosée)	tsat	°C
6	Humidité relative	φ	%
7	Enthalpie	H	kJ/kg (kcal/kg)
8	Température du bulbe humide	thyg	°C
9	Densité	P	Kg/m ³
10	Facteur de chaleur sensible	SHF	. /.

Tableau 5 : Les dix états de l'air

III.3 Structure et fonction de l'installation de l'HVAC

III.3.1 Chauffage central (eau chaude)

Dans cette installation une pompe assure la circulation de l'eau ; l'eau part de la chaudière et arrive grâce aux tuyauteries ou conduites des appareils de chauffage dans chaque locaux, après l'émission de chaleur se pratique et enfin l'eau revient par les tuyauteries de retour. La vanne de sécurité : protège les tuyauteries quand l'eau serait en surchauffe. Pour la vase d'expansion : elle est utilisée pour l'absorption de l'augmentation de volume de l'eau quand il est chauffé car l'eau un fluide incompressible.

Pour une température allant de 10°C à .90°C il s'accroît a un volume de 3,5%.

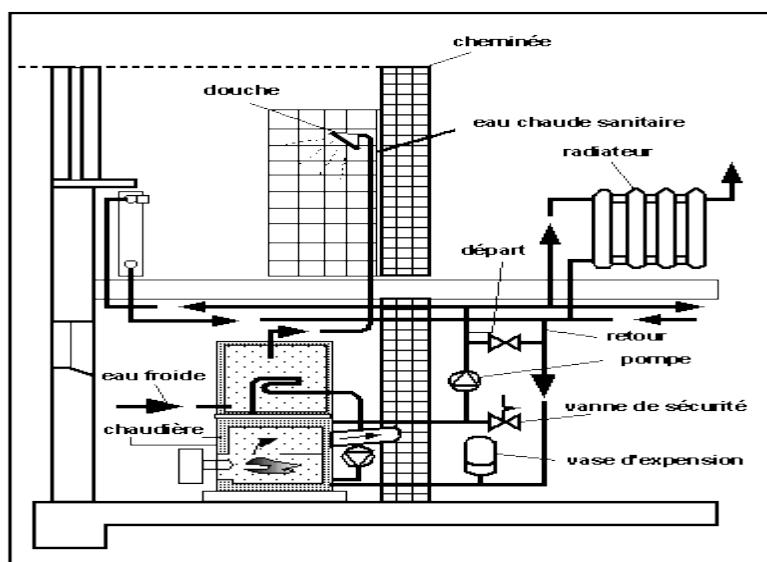


Figure 23 : Chauffage central à eau chaude

III.3.2 Ventilation

La meilleure structure d'installation de ventilation est la combinaison du soufflage, extraction de l'air vicié et le repris d'air déjà utilisé. Ce type de ventilation ne nous permet pas seulement à acquérir une installation de degré de technicité élevée mais aussi de participer à l'économisation d'énergie. Son mécanisme se présente comme suit :

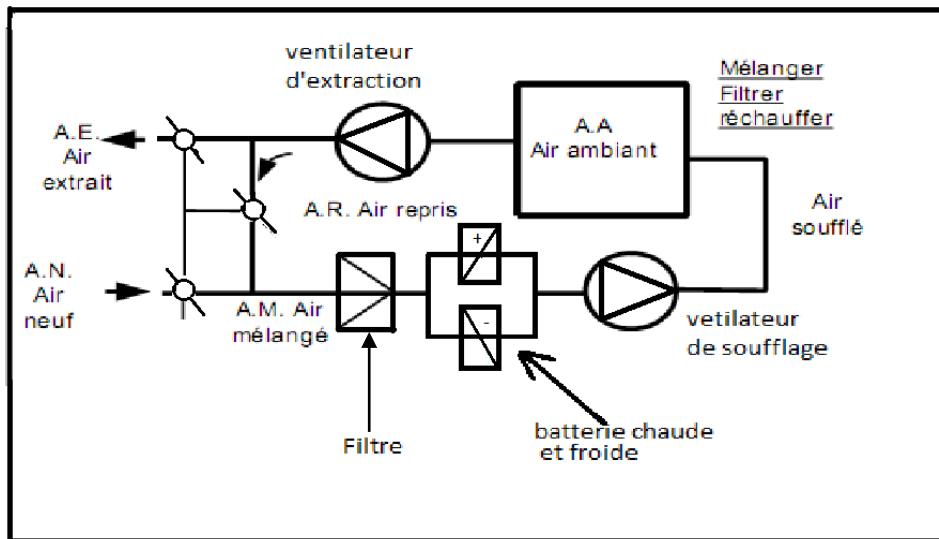


Figure 24 : Installation de soufflage d'air, extraction et reprise d'air

L'air est transporté dans le local par un ventilateur de soufflage et évacué du local par un ventilateur d'extraction. La mise en place d'un filtre à air dans l'installation d'air soufflé permet de nettoyer l'air avant de le distribuer. De plus, la présence des batteries chaude et froide demande une installation de régulation automatique afin de régler et de contrôler la température de l'air soufflé, cette installation peut être conçue comme installation à surpression, à sous-pression ou à pression égale.



PARTIE II : ETUDE DE L'INSTALLATION ET APPLICATION

CHAPITRE I COOLAIR

I.1 Généralité

La machine installée pour réaliser cette étude est appelée COOLAIR, c'est un groupe frigorifique de « HVAC » de types « tout air ou air total ». Elle est branchée avec deux conduits d'air de formes cylindriques en laine de verre enveloppé d'une autre conduite en zinc, ces conduits sont destinés pour véhiculer l'air aspiré de l'extérieur et l'air soufflé vers l'intérieur.



Figure 25 : Groupe COOLAIR

I.2 Caractéristiques

Le groupe frigorifique COOLAIR a les caractéristiques suivantes :

- **Coolair Corporation York, PA**
- **Model N° : C3G4 / 50 ASV**
- **Serial Number : 970614**
- **Evaporator section model N° E3G4 / 50 ASV**
- **Condensing section model N° B3G4 / 50 ASV**
- **Volts : 380 Phase : 3 Cycle : 50**
- **Comp.LRA : 41 RLA : 7.03**
- **Evaporator motor : 0,75 FLA : 1.43**
- **Condensing motor HP : 1 FLA : 1.68**
- **Min. circ. cap AMPS : 11.9 Max fuse size : 20**
- **Factory charges : R 22**

On peut voir sur la figure 23 que le coolair est composé de deux compartiments ; le compartiment supérieur où se trouve l'évaporateur, et le compartiment inférieur celui du condenseur. Chaque compartiment possède aussi leurs propres caractéristiques présentées ci-dessous :

SECTION EVAPORATEUR

Evaporator section model N° E3G4 /

50ASV

Volts : 380 Phase: 3 Cycle: 50

Motor HP: 75 FLA: 1.43

Elec heater KW: Humidifier:

Min. circ. cap. amps: 1.8

Max fuse time: 5

SECTION CONDENSEUR

Condensing section model N° B3G4 /

50ASV

Volts: 380 Phase: 3 cycle: 50

Compressor LRA: 41 RLA: 7.03

Motor HP: 1.0 FLA: 1.68

Min. circ.cap. amps: 10.46

Max fuse time: 20

I.3 Les éléments constitutifs

I.3.1 Le compartiment supérieur

La partie supérieure est composée des organes suivants :

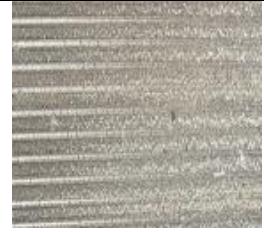
Un filtre à air (492*594*44 [mm]) qui filtre l'air extérieur le premier contre les petits particules et les poussières	
Un filtre antibactérien placée après l'évaporateur pour raison de sécurité sanitaire (hygiène de l'air)	
Détendeur thermostatique	

Evaporateur	
Moteur électrique du ventilateur	
Ventilateur centrifuge	
Thermostat	

I.3.2 Le compartiment inférieur

La partie inférieure du bloc cool air renferme les éléments suivants :

Compresseur	
Piquage de pression en HP et BP	

Filtre déshydrateur	
Condenseur	
Moteur électrique du condenseur	
Ventilateur centrifuge	
Voyant	
Vase de retour d'huile	

I.4 Les apports thermiques

I.4.1 Données climatiques et géographiques indispensables

Pour effectuer le calcul du bilan thermique, les données de base utiles sont :

- Pays : Madagascar
- Ville : Antananarivo
- Hémisphère : SUD
- Latitude : 18°6'
- Altitude : 1392 [m]
- Pression barométrique : 8731,455 [Pa]

Données météorologiques (source : TANA SCM)

	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	JUIL	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
T _{max} [°C]	26,01	26,29	25,71	25,45	23,58	21,56	20,40	21,46	23,83	25,48	26,72	26,90
T _{min} [°C]	15,67	15,93	15,48	14,15	12,21	10,06	8,99	9,28	10,60	11,64	13,99	15,31
V _{moy.vent} [km/h]	6	6	6	5	5	6	6	7	7	7	6	6
V _{max.vent} [km/h]	65	79	94	86	54	58	54	97	58	79	97	65
Direction vent	SE/E	SE/E	SE/E	SE/E	SE/E	SE	SE	SE	SE/E	SE/E	SE	SE
e [HPa]	18,4	18,6	18,8	17,5	15,1	13,2	12,7	12,5	13,3	15	17,8	19,2
HR [%]	81	81	81	79	78	78	78	76	72	71	76	79

Tableau 6 : Données météorologiques

Ces données ont été tirées de la moyenne de température minimale et maximale faites sur 10 ans (1997-2006) ; concernant les vitesses du vent, les tensions en vapeur, l'humidité relative de l'air ; elles sont des moyennes sur 30 ans.

I.4.2 Hypothèse de calcul d'apport

- Heure de fonctionnement : 8h
- Porte, fenêtres et placard sont fermés
- Température de confort : 23°C
- Température extérieure de base : 28°C en Eté (Décembre)
- Température extérieure de base : 7°C en Hiver (Juillet)
- Taux d'occupation de la salle : 5
- Chaleur dégagée par personne : 116 [W]
- Chaleur dégagée du PC : 250 [W]

Ecart de température maximale :

En Eté : $\Delta\theta = \theta_{ext} - \theta_{int}$

$$\Delta\theta = 28 - 23$$

$$= 5 [{}^{\circ}\text{C}]$$

En Hiver : $\Delta\theta = \theta_{int} - \theta_{ext}$

$$\Delta\theta = 23 - 7$$

$$= 16 [{}^{\circ}\text{C}]$$

HEURE	H		NE		E		SE		S	
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v
6	20	4	174	159	184	165	87	58	3	2
7	172	116	414	372	521	414	234	187	17	13
8	433	353	542	465	638	565	347	274	30	20
9	647	569	491	399	586	507	343	243	30	16
10	827	726	358	253	437	343	264	158	28	14
11	930	833	198	95	238	116	138	47	26	13
12	959	857	23	6	0	0	0	0	26	12

HEURE	H		NE		E		SE		S	
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v
12	959	857	26	12	0	0	0	0	23	6
13	930	833	26	13	138	47	238	116	198	95
14	827	726	28	14	264	158	437	343	358	253
15	647	569	30	16	343	243	586	507	491	399
16	433	353	30	20	347	274	638	565	542	465
17	172	116	17	13	234	187	521	414	414	372
18	20	4	3	2	87	58	184	165	174	159

Tableau 7 : Rayonnement solaire (paroi opaque et vitre)

H : horizontal

NE : Nord-Est

E : Est

SE : Sud Est

S : Sud

m : rayonnement solaire brut absorbé par une surface extérieure opaque

v : rayonnement solaire absorbé par les vitrages

Charges internes : charges qui se produisent dans la salle à climatiser, provoquées par les personnes, l'éclairage et appareils électriques.

Charges externes : charges qui se produisent en dehors de la salle à climatiser, qui sont : charges dues au rayonnement solaire, charges dues à l'infiltration d'air non traité, charges dues aux parois.

I.4.3 Les apports internes

I.4.3.1 Apports dus aux occupants

- Charges thermiques sensibles des occupants

$$Q_{socc} = \frac{n_{occ} * C_{socc} * \Delta t}{24} \quad (25)$$

Q_{socc} : gains sensibles des occupants [W]

n_{occ} : nombre des occupants [personnes]

C_{socc} : chaleur sensible des occupants [W] (suivant la température de confort)

Δt : durée de présence des occupants dans la salle [h]

- Chaleur thermique latente des occupants

$$Q_{locc} = \frac{n_{occ} * C_{locc} * \Delta t}{24} \quad (26)$$

Q_{locc} : gains latents des occupants [W]

n_{occ} : nombre des occupants [personnes]

C_{locc} : chaleur latente des occupants [W] (suivant la température de confort)

Δt : durée de présence des occupants dans la salle [h]

I.4.3.2 Apport dus à l'éclairage

$$Q_{écl} = \frac{n_{écl} * C_{sécl} * \Delta t}{24} \quad (27)$$

$Q_{écl}$: apports d'éclairage

$n_{écl}$: nombre d'éclairage dans le local

Δt : durée de la présence des occupants dans le local [h]

$C_{sécl}$: chaleur sensible due à l'éclairage [W]

- Lampes fluorescentes $C_{\text{clé}} = 1,25 * P$ (28)

- Lampes incandescentes $C_{\text{clé}} = P$ (29)

P : puissance de la lampe [W]

I.4.3.3 Apport dus aux équipements

$$C_{\text{mach}} = n * Ku * C_s \quad (30)$$

Avec $Ku = \Delta t * 100 / 24$

C_{mach} : chaleur sensible totale des machines [W]

n : nombre de machine dans le local

Ku : coefficient d'utilisation en [%]

Δt : durée de marche de l'appareil

C_s : chaleur sensible dégagée par les machines

I.4.4 Les apports externes

I.4.4.1 Apport calorifique dus au rayonnement solaire (vitrage)

$$Q_v = \lambda_v * g_v * I * S_v \quad (31)$$

Q_v : quantité de chaleur traversant la vitre [W]

λ_v : coefficient d'absorption

g_v : facteur de réduction

I : intensité du rayonnement solaire du vitrage (en fonction de l'orientation) [W/m²]

S : surface vitrage ensoleillé [m²]

I.4.4.2 Apport calorifique du mur

$$Q_m = \lambda_m * g_m * I * S_m \quad (32)$$

Q_m : quantité de chaleur traversant le mur [W]

λ_m : coefficient d'absorption du mur

g_m : facteur de rayonnement solaire

I : intensité du rayonnement solaire

S_m : surface nette du mur

I.4.4.3 Apport par transmission dus aux vitrages

$$Q_v = S_v * K * \Delta\theta \quad (33)$$

Q_v : apport par transmission du vitrage [W]

K : coefficient de transmission thermique du vitrage [W/m².K]

S_v : Surface du vitrage [m²]

$\Delta\theta$: écart de température entre le milieu extérieur et intérieur [°C]

I.4.4.4 Apport par transmission dus aux parois

$$Q_p = S_p * K * \Delta\theta \quad (34)$$

Q_v : apports par transmission de la paroi [W]

K : coefficient global d'échange thermique [W/m².K] *selon le type de paroi*

S_p : surface de la paroi [m²]

$\Delta\theta$: écart de température entre le milieu extérieur et intérieur [°C]

I.4.4.5 Apport dus au renouvellement d'air

- Charge due à la chaleur sensible de l'air

$$Q_{sra} = 0.34 * q_v * (\Theta_e - \Theta_i) \quad (35)$$

Q_{sra} : gains sensibles par renouvellement d'air [W]

q_v : débit d'air extérieur de renouvellement [m³/h]

Θ_e : température extérieure de base [°C]

Θ_i : température intérieure de base [°C]

- Charge due à la chaleur latente de l'air

$$Q_{lra} = 0.84 * q_v * (\omega_e - \omega_i) \quad (36)$$

Q_{lra} : gains latents par renouvellement d'air [W]

q_v : débit d'air extérieur de renouvellement [m³/h]

ω_e : teneur en eau de l'air extérieur [g_{eau}/kg_{air sec}]

ω_i : teneur en eau de l'air intérieur [g_{eau}/kg_{air sec}]

I.4.5 Dimensionnement de la salle et les fenêtres vitrées

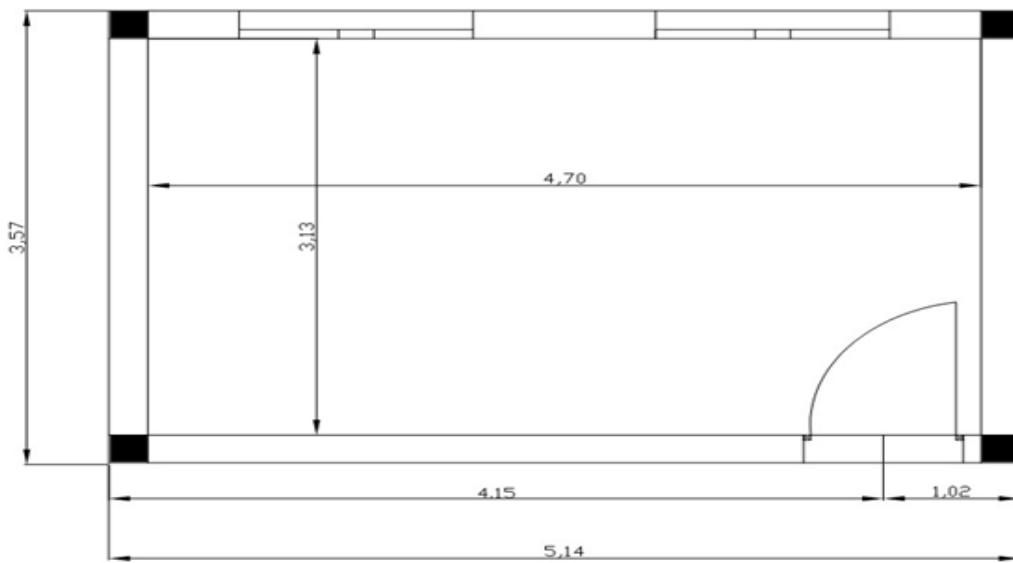


Figure 26 : Salle du labo froid

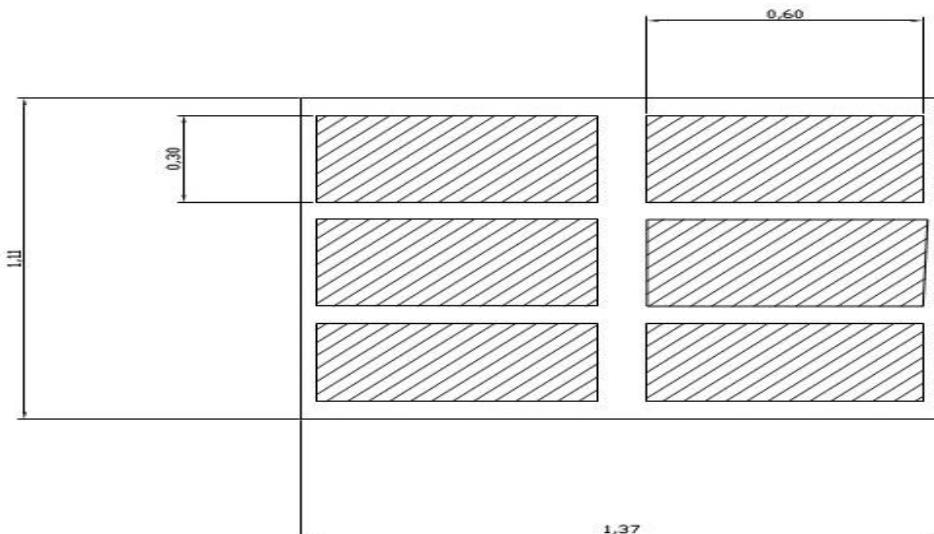


Figure 27 : Fenêtre n°01

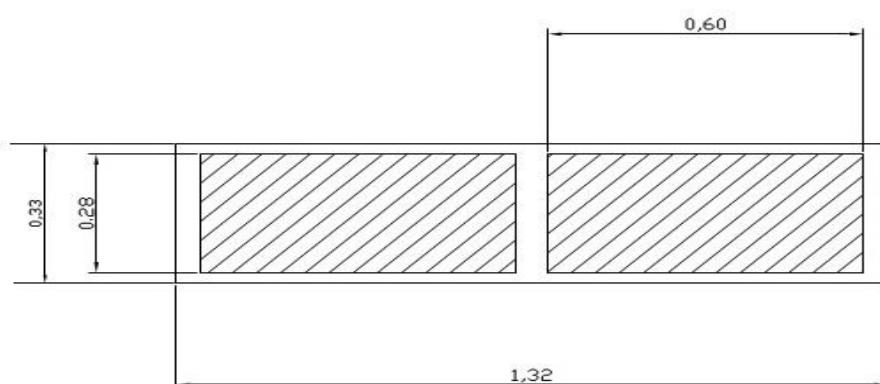


Figure 28 : Fenêtre n°02

I.5 Application numérique

Apport interne

$$C_{socc} : 75 \text{ [W]}$$

$$C_{locc} : 41 \text{ [W]}$$

- Occupants : $Q_{socc} = (5*75*8)/24$

$$= 125 \text{ [W]}$$

$$Q_{locc} = (5*41*8)/24$$

$$= 68.33 \text{ [W]}$$

$$Q_{occ} = Q_{socc} + Q_{locc}$$

$$= 193.33 \text{ [W]}$$

- Eclairage :

$$Q_{ecl} = (2*100*8)/24$$

$$= 33.33 \text{ [W]}$$

- Equipement : **Ku [%]**

$$Q_{mach} = 250*8*100/24$$

$$= 83.33 \text{ [W]}$$

TOTAL DES APPORTS INTERNES : 309.99 [W]

Apport externe

- Apport par rayonnement solaire (vitrage)

$$Q_1 = 1 \times 0.4 \times 465 \times 2.16 = 401,76 \text{ [W]}$$

- Apports par rayonnement solaire (mur)

$$Q_2 = 0.7 \times 0.125 \times 11.2874 \times 542 = 535,30 \text{ [W]}$$

- Apports des parois par transmission

- ✓ Vitrage :

$$Q_3 = 5 \times 3.9126 \times 5 = 97,53 \text{ [W]}$$

- ✓ Parois :

$$Q_3 = 2.5 \times 11.2874 \times 5 = 141,0925 \text{ [W]}$$

- Apports dus par renouvellement d'air et d'infiltration :

✓ Charge due à la chaleur sensible de l'air :

$$Q_4 = 0.34 \times 90 \times (28-7) = 642.6 \text{ [W]}$$

✓ Charge due à la chaleur latente de l'air :

$$Q_5 = 0.84 \times 90 \times 15 = 1134 \text{ [W]}$$

TOTAL DES APPORTS EXTERNES : .2952.57 [W]

	C _s [W]	C _L [W]
<i>Apports internes</i>		
Occupants	125	68.33
Eclairages	33.33	0,00
Appareillages	83.33	0.00
TOTAL DES APPORTS INTERNES	241.66	68.33
<i>Apports externes</i>		
Transmission	238.62	0.00
Rayonnement	937.06	0.00
Renouvellement d'air	642.6	1134
TOTAL DES APPORTS EXTERNES	1818.28	1134
	2059.94	1202.33
TOTAL DES APPORTS		3262.27

Tableau 8 : Récapitulatif des apports thermiques de la salle

- La puissance frigorifique nette est de Q₀ = 3263[W]

Puissance frigorifique de l'installation $P_{frig} = 1,2 * Q_0 \quad (37)$

$$= 3916 \text{ [W]}$$

Puissance du compresseur à installer $P_{MC} = \frac{P_{frig} * 24}{\tau_{inst}} \quad (38)$

$$= \frac{3916 * 24}{15}$$

$$= 6265.6 \text{ [W]}$$

$$P_{MC} = 6265,6 \text{ [W]}$$

Notre groupe frigorifique possède une puissance de 24.56 HP (Horse Power) ;

Dans la norme SI : 1Cheval Vapeur donne 736 [W],

Par contre, dans la norme Américaine US, elle est d'une valeur de 745.6 [W].

- **Puissance du compresseur du coolair : 18320 [W]**

Conclusion: vu les résultats ci-dessus, notre groupe peut même climatiser trois locaux comme le laboratoire froid.

CHAPITRE II IMPLANTATION DE LA MACHINE

II.1 Caractéristiques du conduit d'air

Pour le système de conditionnement d'air, plus exactement dans le système de ventilation, la nécessité de l'installation des conduits d'air est indispensable dans le but de véhiculer l'air extérieur à traiter pour le distribuer dans les enceintes cibles.

Pour notre installation, on a conçu des conduits d'air cylindriques en « laine de verre » enveloppé par une « tôle en zinc »; ce concept a été mis en œuvre afin que le conduit présente guère de perte de charge grâce à la laine de verre et que ce conduit ait une longue durée de vie grâce à l'enveloppement de la tôle de zinc. Ainsi, ce conduit d'air épouse le profil suivant :

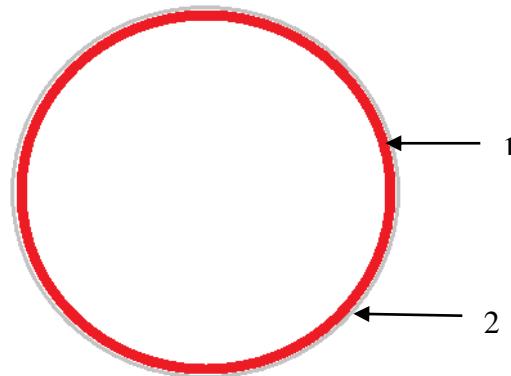


Figure 29 Représentation en coupe du conduit d'air

1 : conduit extérieur fabriqué à partir de tôle en zinc de faible épaisseur, et qui a aussi pour fonction d'envelopper et de protéger le conduit n° 2 sur la figure ci-dessus.

2 : conduit intérieur fabriqué à partir de laine de verre

Laine de verre ou fibre de verre:

C'est un matériau fibreux, la laine de verre est utilisée souvent dans les isolations frigorifiques grâce à ses caractéristiques. Dans ce genre de matériau, l'air n'est pas enfermé dans de nombreuses petites cellules fermées, mais emprisonné entre les fibres enchevêtrées du produit.

C'est un matériau très léger et dont on peut varier sa densité lors de sa fabrication. Elle est imputrescible, ne servant pas d'aliments aux rongeurs, inodore, neutre vis-à-vis des autres matériaux, ignifuge, et non inflammable.

Il existe deux sortes de fibre de verre couramment utilisés en isolation :

Masse volumique [kg/m ³]	Température moyenne dans l'isolant : [°C]	Conductivité Thermique	
		[W/m.°C]	[kcal/hm.°C]
22	20	0.038	0.033
	0	0.035	0.030
	-10	0.034	0.029
29	20	0.035	0.030
	0	0.032	0.027
	-10	0.030	0.026

Tableau 9 : Caractéristiques du la laine de verre

II.2 Conduit d'aspiration

Le conduit d'aspiration a pour rôle d'absorber l'air extérieur, celui-ci passe par un filtre spécial avant d'être refoulé dans le local.

Ci-dessous est représenté le schéma du conduit d'aspiration du cool air :

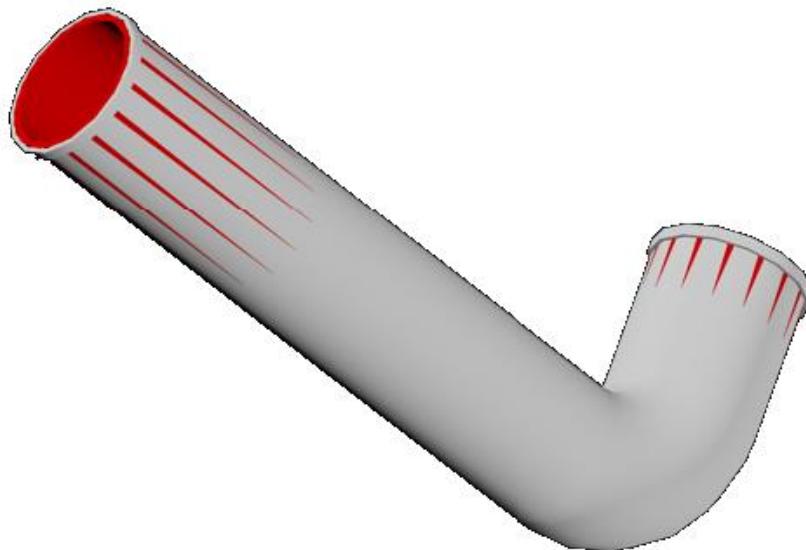


Figure 30 : Dessin du conduit d'aspiration en 3D

II.3 Conduit de diffusion d'air

Concernant les caractéristiques de ces conduits, elles sont les mêmes ; mais celui-ci a pour rôle de véhiculer l'air traité et qui est diffusé par le ventilateur jusqu'à la bouche d'aération du local à ventiler.

Ci-dessous, on peut voir la représentation schématique sur 3D du conduit de diffusion, du bout fixé avec le coolair jusqu'à traversé le mur de la salle.

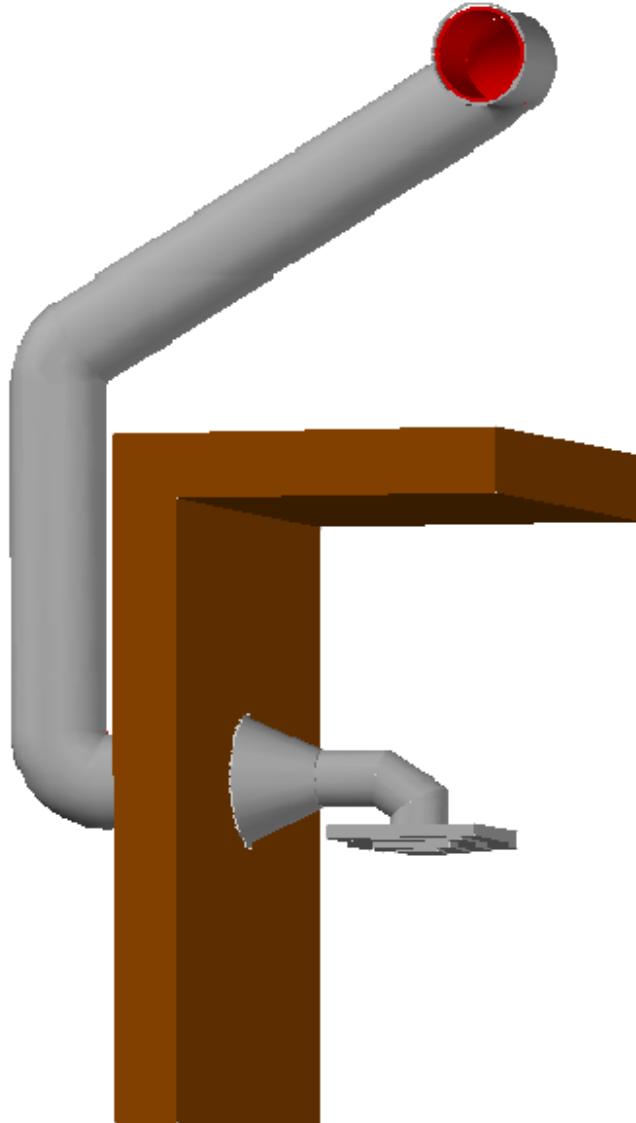


Figure 31 : Dessin du conduit de diffusion d'air en 3D

II.4 Bouche d'aération

Dans ce système, le conduit d'air traité s'aboutisse toujours à des terminales de ventilation ou bouche d'aération. Pour une meilleure diffusion d'air dans la salle, on a établit une mise en place d'une bouche d'aération de type « soufflage en partie centrale du plafond ».

Le but du choix de la bouche nous permet de conduire à l'égalité de sa portée avec la dimension du local dans le sens de l'écoulement du jet. Lorsque plusieurs bouches sont

utilisées, il est nécessaire de vérifier que le local tout entier est bien traité (absences de zones mortes) et que les bouches ne se perturbent pas mutuellement.

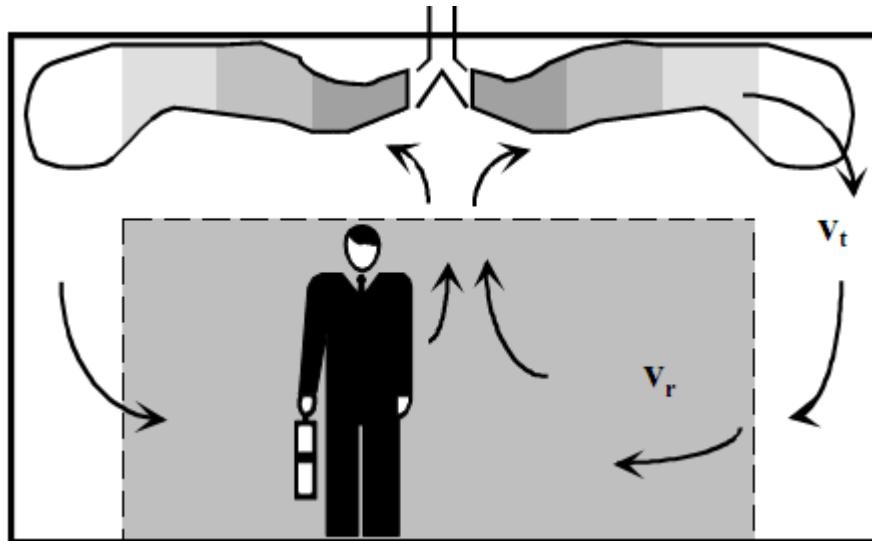


Figure 32 : Soufflage en partie centrale du plafond



Figure 33 : Bouche d'aération

II.5 Conduit d'air repris

Une ventilation générale permanente consiste à introduire de l'air neuf dans le local puis à extraire mécaniquement l'air vicié dans ce même local.

Pour compléter notre installation de système « tout air », on a mis en place une VMC ou ventilation mécanique contrôlée, qui assurera la reprise d'air vicié dans le local ; c'est un système de ventilation équipé d'un moteur électrique silencieux ; son rôle est d'assurer

l'extraction de l'air vicié dans le local ; l'air vicié sera extrait du local via un conduit de rejet vers l'extérieur dans le but de maintenir le cycle de renouvellement de l'air.

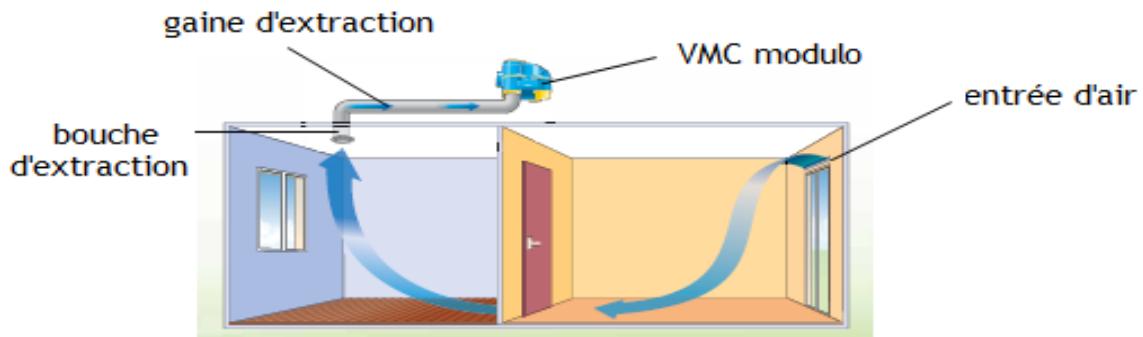


Figure 34 : Mécanisme de la VMC

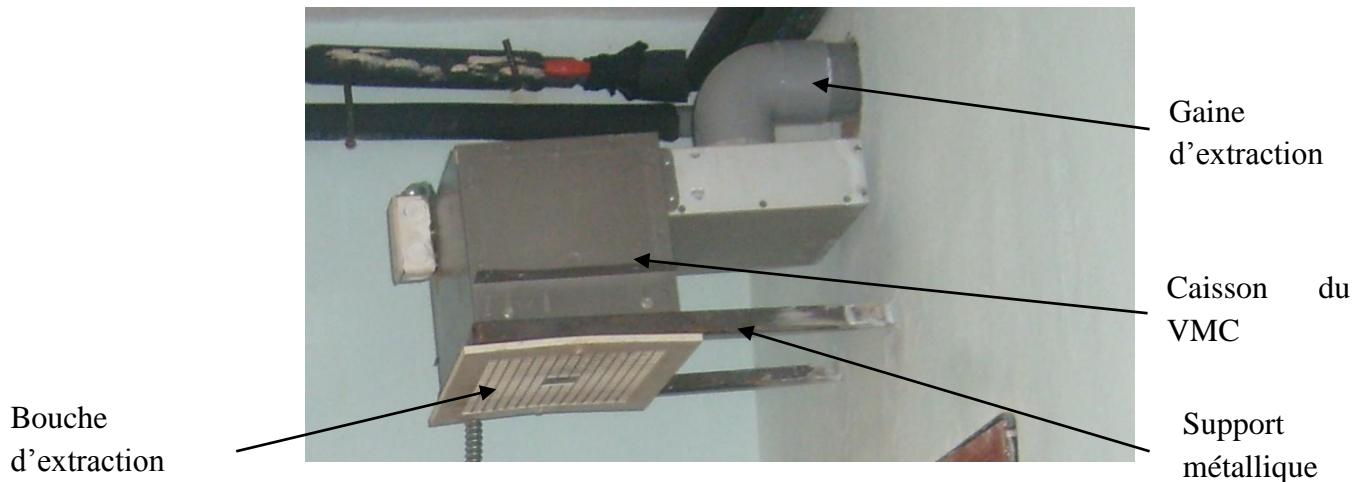


Figure 35 : VMC

CHAPITRE III ETUDE DE MISE EN MARCHE

III.1 Principe

La mise en marche de l'installation nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement du Coolair. Voici quelques procédures à suivre pour l'installation :

- Alimenter la machine avec une tension triphasée de 380 Volts;
- L'interrupteur de démarrage doit être fermé ;
- La bobine du contacteur de démarrage dans le compartiment haut s'excite et met en marche le moteur électrique du ventilateur de soufflage au niveau de l'évaporateur ;
- De même, les deux bobines des contacteurs dans le compartiment bas exercent la même action avec le démarrage du moteur électrique du ventilateur de refroidissement du condenseur ainsi que la mise en marche du compresseur afin que le cycle fluidique se poursuive.

L'air extérieur passe par plusieurs étapes avant d'être distribuer dans la salle :

- Quand l'air est aspiré, il est véhiculé premièrement par le conduit d'aspiration ;
- Ensuite, il passe par un filtre à air (séparation avec les poussières, CO₂,.....)
- Arrivé dans la carrosse de la machine et sous l'effet d'absorption due à un ventilateur, l'air passe à une détente directe à la batterie froide qui est l'évaporateur ;
- En outre du point de vue filtrage, l'air passe par un second filtre de type antibactérien pour être bien saine.
- Par suite, le ventilateur de soufflage refoule l'air dans le conduit de refoulement afin que ce dernier puisse le véhiculer jusqu'à la bouche d'aération.

Un thermostat assure l'arrêt de l'installation quand la température de consigne est atteinte.

III.2 Branchement électrique de l'installation

Comme tous les appareils électriques, l'installation a besoin d'énergie électrique pour être en mode actif ; l'alimentation principale est de 380 V triphasée.

Pour la sécurité de l'installation, un fil relié à la terre doit être branché pour éviter les risques de surtension. Aussi, il faut vérifier la plaque signalétique de la machine telle que la tension d'alimentation, la fréquence et le nombre de phases pour éviter une fausse manipulation lors de la connexion électrique. Le non-suivi de ces caractéristiques de la machine pourrait conduire à une défaillance de l'installation et des risques dangereuses pour les opérateurs.

En outre, certains appareils ne peuvent pas fonctionner à cette tension donc un dispositif a été mis en place pour réguler la tension de quelques appareils et qui joue le rôle de transformateur de tension. Selon nos besoins, la tension peut être transformée de 380V entre phase en 24 V pour l'excitation des bobines des contacteurs. Par ailleurs le branchement des moteurs et le compresseur sont du type direct (380V).

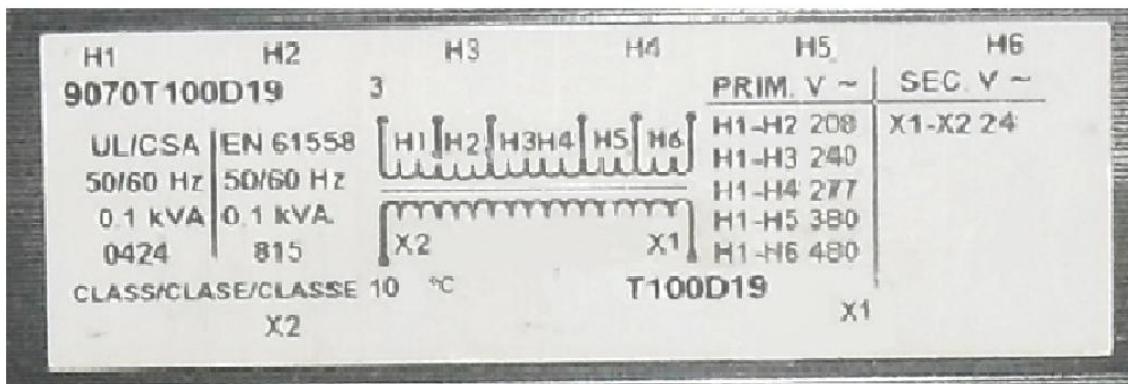


Figure 36 : Caractéristique du transformateur

III.3 Charge en fluide frigorigène

C'est une opération effectuée après le tirage au vide de l'installation frigorifique et qui consiste à introduire dans le circuit fluidique une quantité bien définie de FF donnée sur la plaque signalétique. L'opération se fait quand la machine est hors tension.

Le FF est aussi un des composants élémentaires lors de la mise en marche d'un groupe frigorifique. Avant de mettre en marche la machine, la charge en fluide frigorigène est indispensable car celui-ci n'en avait pas assez pour un bon fonctionnement.

La procédure de charge s'effectue toujours avec le tirage au vide, ce dernier passe en premier lieu afin d'avoir aussi plus de sécurité ;

- Après la détection de fuite effectuée par « eau savonneuse » (formation de bulle en cas de fuite) sur les surfaces de canalisations ;
- On récupère les FF restant dans l'installation par intervention d'un poste de récupération ;
- On change le filtre déshydrateur, suivi d'une brasure oxyacétylénique
- Mise au point de tout le système électrique
- Branchement des manifolds au niveau des tuyaux de service, le flexible jaune se maintient à la pompe à vide ;

- On met en marche la pompe à vide pendant une heure environ pour atteindre à peu près 0.07 [bar] ;
- Attendre 15 minutes puis détecter les fuites possibles
L'existence de fuite entraîne la variation de l'indication du manomètre
- Cassage du vide (opération consistant à envoyer de l'azote à haute pression à environ 8 [bar] : azote + FF en trois jets).
- Cette tâche est effectuée pour avoir une bonne efficacité du tirage au vide avant la charge en FF.
- Laisser s'échapper l'azote. Quand la pression tombe à 0.5 [bar] environ, lisible sur le manomètre BP.
- Attendre l'évolution pendant 24 heures
- S'il n'y a plus de variation d'indication de l'aiguille des manomètres : on commence la charge en FF.
- Brancher la bouteille de FF à la place de la pompe à vide
- Ouvrir la bouteille de FF.
- Purger l'installation par un jeu de manifold, deux fois suffit.
- Envoyer 3 jets de fluide en ouvrant la vanne manuelle de durée 1-2 secondes
- Déterminer la température de vaporisation à atteindre (par calcul ou indication de la plaque signalétique).
- La pression et la température correspondante sont marquées sur l'écran du manifold
- Démarrer le compresseur.
- Ajouter de la charge en FF jusqu'à atteindre l'indication voulue.
- Ajuster la charge par le by-pass BP du jeu de manomètre pour avoir un sous refroidissement compris entre 4 et 7 [°C].
- Une fois le sous-refroidissement est atteint, fermer la vanne de la bouteille de charge, le by-pass BP du jeu de manomètre et démonter la bouteille de charge.

III.4 Matériels nécessaires

Pour l'opération de charge en FF les matériels nécessaires se composent de :

- Un manifold (à 3 flexibles)
- Outilage : clés à cliquet, clés mixte, pince, tournevis pour vis à fente.....

- Outilage pour tube (lors du changement de filtre déshydrateur) : cintreuses, coupe tube, ébavureur, dudgeonnière, poste de soudure (brasure oxyacétylénique), paquet de fausse brase, flux décapant, pince à obturer.....
- Outilage électrique : pince à dénuder, tournevis isolés, lampe électrique portable.....
- Les appareils de mesure : multimètre, hygromètre, thermomètre...
- Matériels pour détection de fuite : eau savonneuse, lampe haloïde
- Matériels pour remplissage : balance de charge électronique et cylindre de charge
- Matériel pour la mise à vide : pompe à vide ou vacuomètre
- Matériel pour la récupération de FF (poste de récupération)
- Matériels pour le test sur le circuit : test de mesure d'acidité, test de mesure d'humidité.
- Raccords : valves, bouchons mâle.

III.5 Schéma fluidique de l'installation

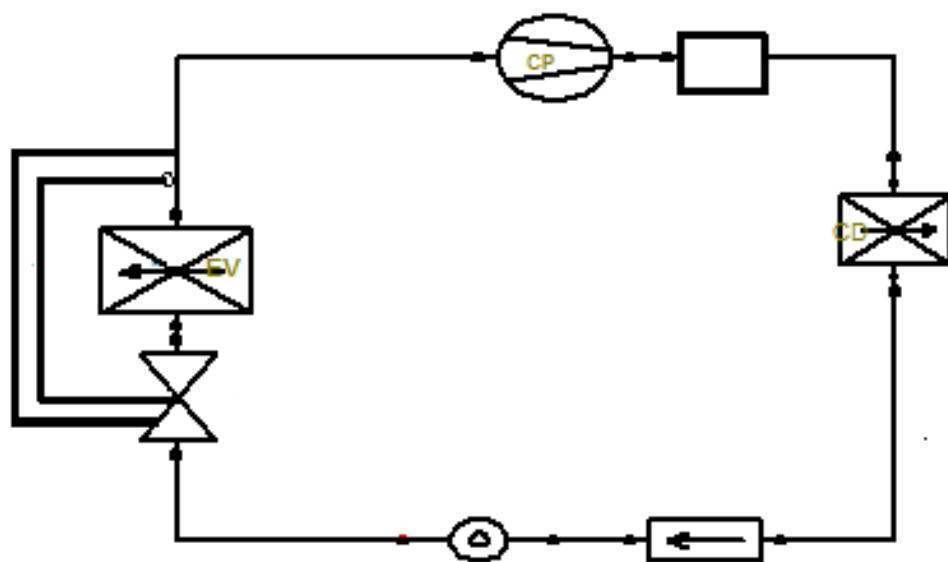
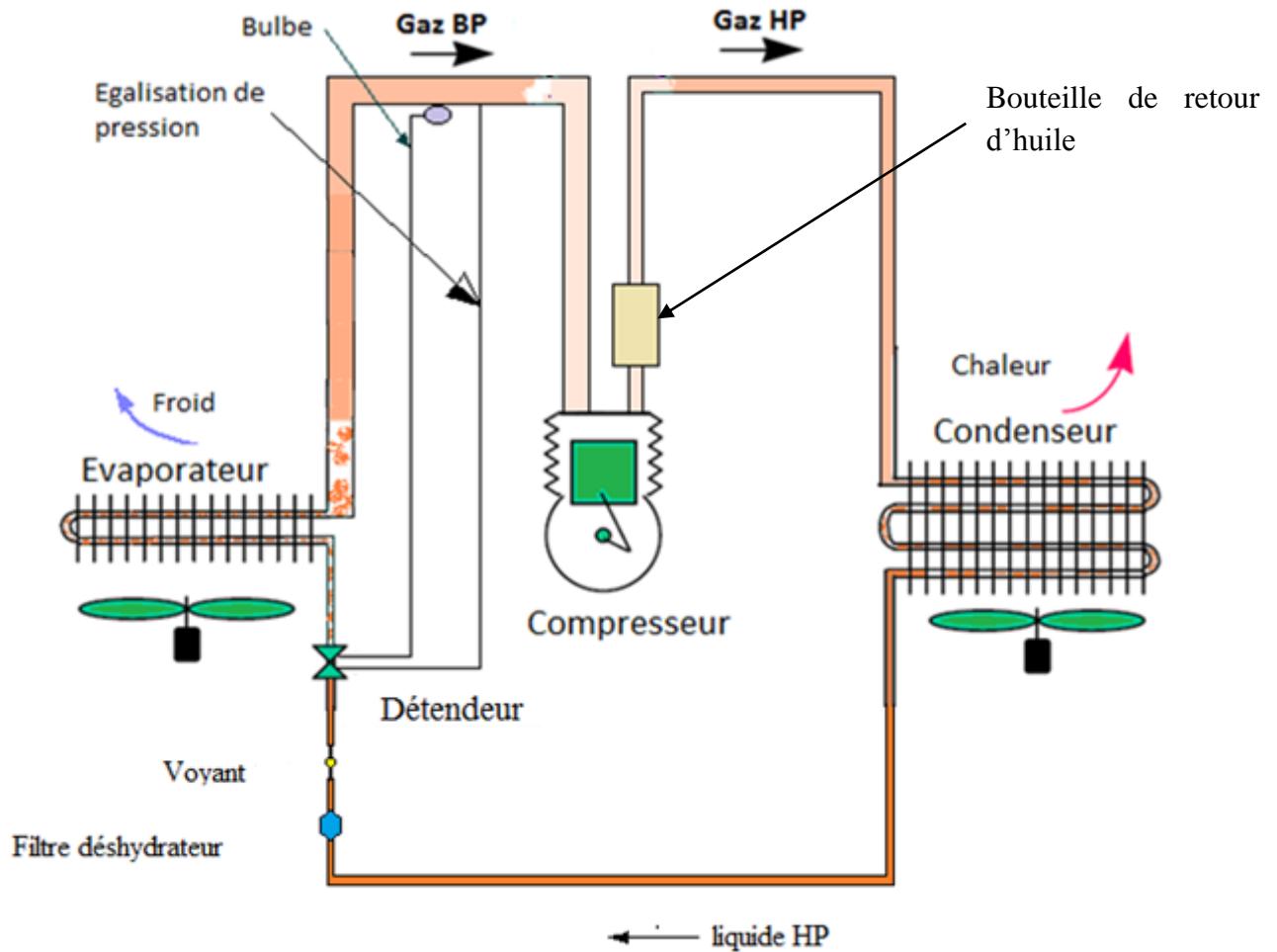


Figure 37 : Schéma fluidique de l'installation

A l'état vapeur, le FF est refoulé par le compresseur à haute pression et à température élevée vers le condenseur suivant le tuyau de refoulement. Arrivé dans le condenseur, le réfrigérant subit une désurchauffe jusqu'à l'apparition de goutte de liquide, ensuite la condensation s'exécute jusqu'à ce qu'il redevient totalement liquide, puis avant son entrée au détendeur, un sous refroidissement se manifeste.

Sortie du condenseur à l'état liquide encore à haute pression, le FF se dirige vers le filtre déshydrateur et passe par le voyant pour atteindre le détendeur.

Arrivé au détendeur le FF se vaporise partiellement où il s'expose à une détente de pression et une chute de température.

En suivant son trajet, il parvint à l'évaporateur à basse pression et à basse température ; le fluide s'évapore au niveau de l'évaporateur avec les mêmes conditions précédentes ; tenons compte que le fluide est à l'état vapeur où il subira une surchauffe avant d'être aspiré par le compresseur.

Ainsi fait, le FF reprendra son cycle.

III.6 Schéma électrique de l'installation

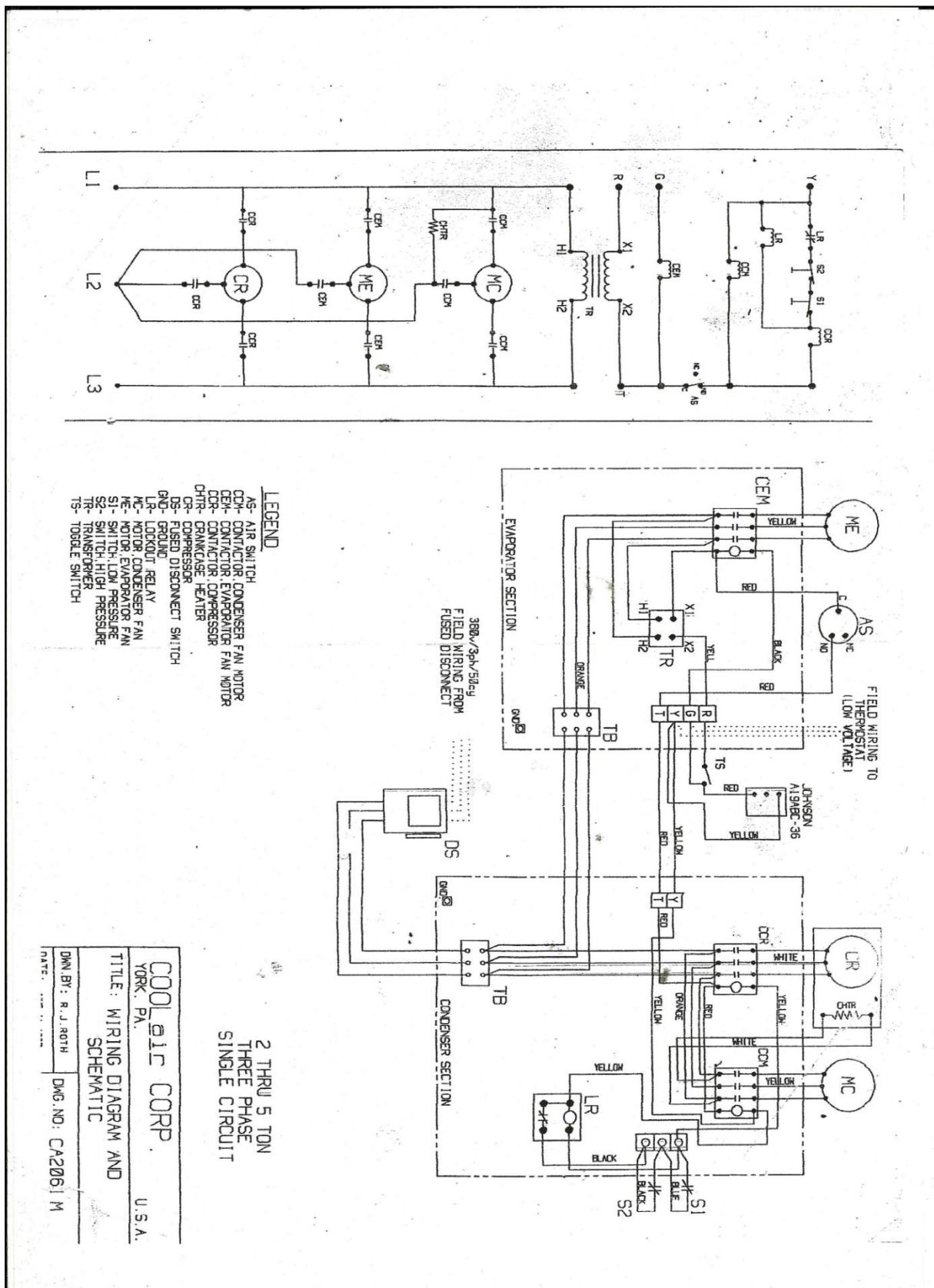
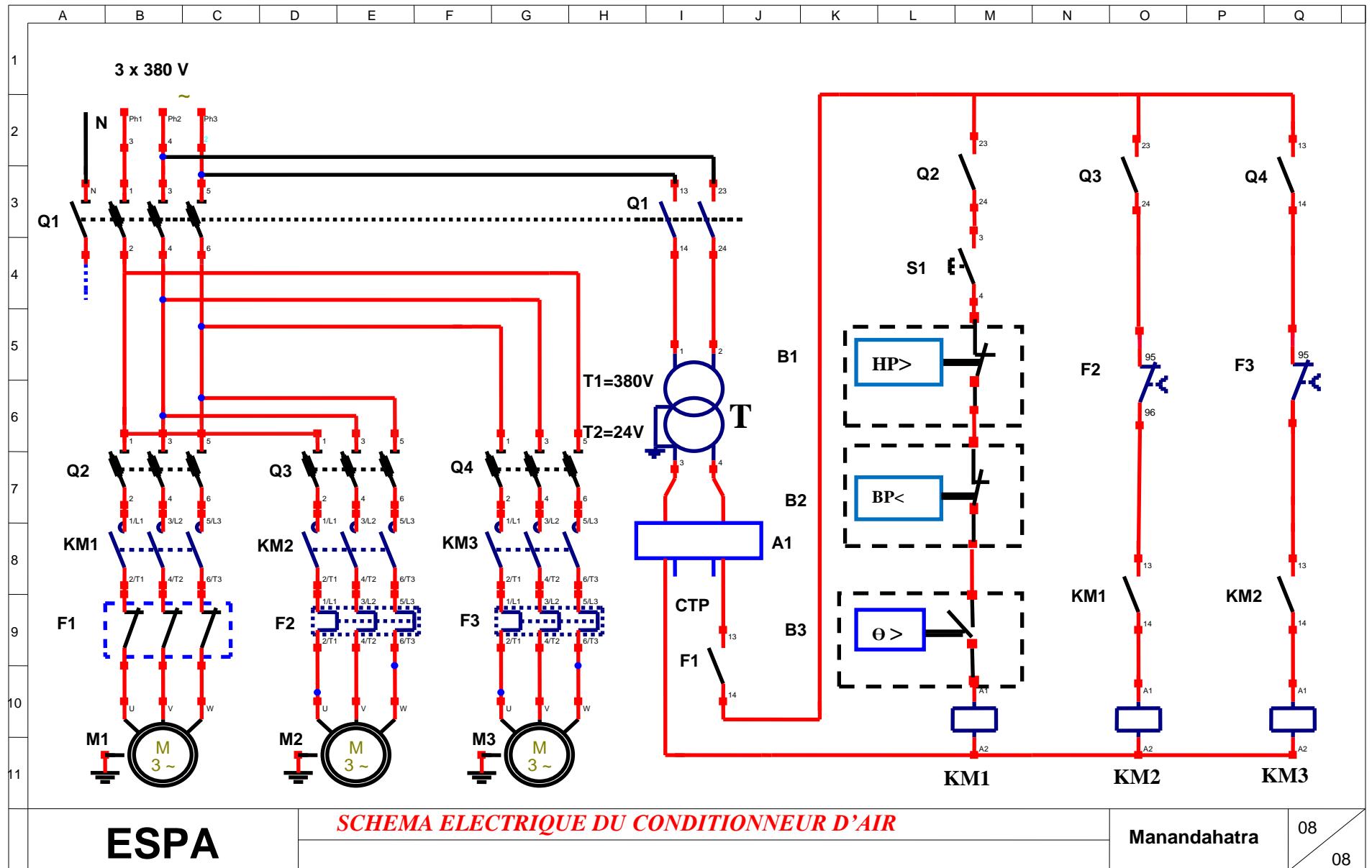


Figure 38 : Schéma électrique à la norme Américaine



CIRCUIT DE PUISSANCE	CIRCUIT DE COMMANDE
<p>N/L1/L2/L3 : alimentation triphasée avec neutre (380V/220V)</p> <p>Q1 : sectionneur à fusibles général</p> <p>Q2 : sectionneur à fusibles du moteur compresseur</p> <p>KM1 : contacteur d'alimentation du moteur compresseur hermétique triphasé</p> <p>F1 : protection thermique interne du moteur compresseur</p> <p>M1 : moteur asynchrone triphasé du compresseur</p> <p>Q3 : sectionneur à fusibles du moteur du ventilateur de condenseur</p> <p>F2 : relais thermique de protection du moteur du ventilateur de condenseur</p> <p>M2 : moteur asynchrone triphasé du ventilateur de condenseur</p> <p>Q4 : sectionneur à fusibles du moteur du ventilateur de l'évaporateur</p> <p>F3 : relais thermique de protection du moteur du ventilateur de l'évaporateur</p> <p>KM3 : contacteur d'alimentation du moteur de l'évaporateur</p> <p>M3 : moteur asynchrone triphasé du moteur de ventilateur de l'évaporateur</p>	<p>L1/L2 : alimentation du circuit de commande entre phase (220V)</p> <p>Q1 : contacts de précoupure du sectionneur général à fusibles</p> <p>T1 : transformateur de tension (220 V- 24V) pour l'alimentation des contacteurs</p> <p>A1 : module protection du moteur</p> <p>F1 : protection thermique interne pour le type de compresseur hermétique scroll</p> <p>CTP : résistance à coefficient de température positif</p> <p>B1 : pressostat haute pression de sécurité</p> <p>B2 : pressostat basse pression de régulation</p> <p>B3 : thermostat de régulation</p> <p>Q2 : contact de précoupure du sectionneur à fusibles du compresseur</p> <p>Q3 : contact de précoupure du sectionneur à fusibles du ventilateur de condenseur</p> <p>F2 : contact du relais de protection du ventilateur de l'évaporateur</p> <p>KM1 : bobine du contacteur d'alimentation du motocompresseur</p> <p>S1 : auxiliaire manuel marche et arrêt du groupe</p> <p>KM2 : bobine du contacteur d'alimentation du ventilateur de condenseur</p> <p>Q4: contact de précoupure du sectionneur à fusibles du ventilateur de l'évaporateur</p> <p>F3 : contact du relais de protection du ventilateur de l'évaporateur</p> <p>KM3 : bobine du contacteur d'alimentation du ventilateur de l'évaporateur</p>

III.7 Fonctionnement de la partie de commande

Le circuit de commande s'opère ainsi :

- Impulsion sur S1
- Fermeture de Q1 (sectionneur à fusible principal, U= 380 V).
- Fermeture automatique des sectionneurs à fusibles auxiliaires Q2, Q3, Q4.
- Transformation de la tension 380 Ven 24 V pour l'alimentation des contacteurs.
- Fermeture du contact du thermostat par détection d'une température donnée.
- Fermeture du contact F1 de la protection interne du compresseur
- Alimentation de la bobine du contacteur du compresseur
- Excitation de la bobine du contacteur du moteur du ventilateur du condenseur par KM1.
- Excitation de la bobine du contacteur du moteur du ventilateur de l'évaporateur par KM2
- Ouverture du contact du thermostat quand la température voulue est atteinte.
- Mise sous tension de tous les contacteurs.
- Arrêt total de l'installation

Si pendant le fonctionnement un problème survenait au niveau du moteur électrique soit au niveau du circuit frigorifique, le groupe serait automatiquement mis à l'arrêt par coupure de l'alimentation de la bobine du contacteur du groupe, soit par ouverture du contact F1 de la protection thermique interne du moto compresseur, soit par ouverture du pressostat HP de sécurité

CHAPITRE IV MANUEL DE MAINTENANCE

IV.1 Maintenance

IV.1.1 Définition

La maintenance est l'ensemble des faits ou des opérations destinées à l'entretien, à la vérification, à la réparation d'un matériel ou d'un bien dans un état spécifié qui serait en mesure d'assurer un service bien déterminé.

Donc la maintenance les tâches à accomplir sont:

- prévention
- visite
- dépannage et réparation

Ces tâches nous permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la bonne marche et la fiabilité de la machine.

IV.1.2 Différents types de maintenance

Selon les tâches à accomplir, la maintenance peut se présenter sous différentes formes : la maintenance conceptuelle, la maintenance préventive, la maintenance corrective et la maintenance méliorative.

IV.1.2.1 La maintenance conceptuelle

C'est un type de maintenance qui pourrait généralement avoir lieu soit pendant la phase d'étude (conception et fabrication), soit pendant la phase d'exploitation (fonctionnement).

IV.1.2.2 La maintenance préventive

La maintenance préventive se pratique selon les cas définis ci-dessous, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation des tâches accomplis. Dans ce cas, la maintenance préventive peut être :

- systématique
- conditionnelle

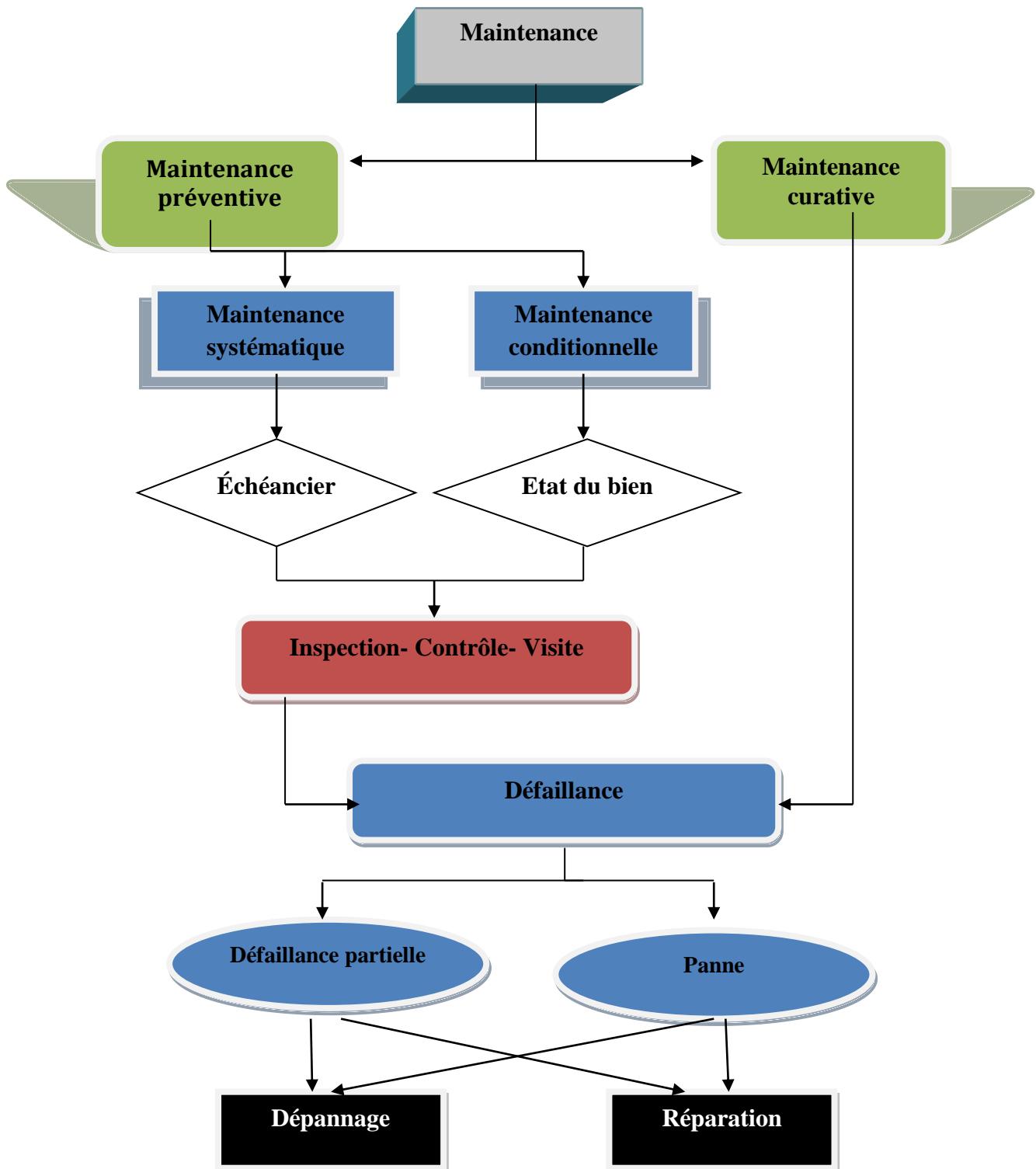
IV.1.2.3 La maintenance corrective

Ce type de maintenance qu'on appelle aussi parfois maintenance curative s'effectue toujours après défaillance ou panne.

IV.1.2.4 La maintenance améliorative

Comme son nom l'indique ce type de maintenance est destiné pour l'amélioration et progression du fonctionnement de l'installation.

IV.1.3 Organigramme de la maintenance



IV.1.4 Tâches à exécuter lors de la maintenance

Avant n'importe quelle opération de maintenance, il est nécessaire de réaliser les consignes suivantes:

- Isoler les unités du circuit électrique en agissant sur l'interrupteur extérieur ;
- Placer une indication de maintenance sur l'interrupteur extérieur. Par exemple écrire “Ne pas actionner -Maintenance en cours” ;
- S'assurer que les éventuelles commandes de « on-off » à distance sont désactivées ;
- Se munir des protections prescrites pour la prévention des accidents (casque, gants isolants, lunettes de protection, chaussures de sécurité, etc....)

Si l'on doit effectuer des mesures ou des contrôles demandant le fonctionnement de l'appareil, il faut:

- Fermer le tableau électrique dès que la mesure ou le contrôle est effectué
- Pour les unités placées à l'extérieur, ne pas effectuer d'interventions dans des conditions atmosphériques dangereuses telles que pluie, neige, brouillard, etc....

D'autre part, il faut toujours prendre les précautions suivantes:

- Ne jamais évacuer ou abandonner dans la nature les fluides contenus dans le circuit frigorifique.
- En cas de remplacement d'un compresseur, de l'évaporateur, des batteries de condensation ou de tout autre élément lourd, s'assurer que les organes de levage sont compatibles avec les poids à soulever
- Dans les unités à air avec logement compresseur autonome, ne pas accéder au logement ventilateurs sans avoir préalablement isolé l'appareil en actionnant l'interrupteur.
- Utiliser exclusivement des pièces de rechange d'origine.

IV.1.4.1 Pour le compresseur

- Mesurer les pressions HP/BP à l'aide de manomètres directement sur les prises de pressions du compresseur.
- La surchauffe doit être mesurée à la sortie de l'évaporateur, au niveau du bulbe du détendeur, et doit être comprise entre 4 et 8°C au R22

- La température de refoulement est mesurée sur la tuyauterie à la sortie du compresseur, et doit être comprise entre 65 et 85°C.
- Pour l'intensité absorbée du compresseur se reporter à la documentation technique.

Péodicité	3 mois	6 mois
Pressions HP/BP	X	
Surchauffe		X
Résistance carter		X
Température refoulement		X
Intensité absorbée	X	

IV.1.4.2 Pour le condenseur

- La tension et le niveau d'usure de la courroie du ventilateur doivent être contrôlés et si besoin remplacés.
- En ce qui concerne l'intensité absorbée du ventilateur se référer à la documentation technique.
- Le sous-refroidissement doit être mesuré sur la ligne liquide, à la sortie du condenseur, et doit être compris entre 4 et 8°C (au R22)
- Le maintien de la pression de condensation est réglé à 16 bar, et doit être contrôlé tous les 3 mois.
- Nettoyer le condenseur tous les 6 mois à l'aide d'une brosse ou utiliser de l'azote si l'enrassement est trop important.

Péodicité	3 mois	6 mois
Etat et tension de la courroie		X
Intensité absorbée du ventilateur	X	
Sous-refroidissement		X
Maintient de la pression de condensation	X	
Propreté du condenseur		X

IV.1.4.3 Régulation et sécurité

Tous les organes de sécurité et de régulation (commande et alarmes) devront être contrôlés et si besoins réglés aux valeurs d'origine (lors de la mise en service).

IV.1.4.4 Resserrages et connections électriques

Avant de procéder à l'entretien, couper l'alimentation électrique du système.

Les circuits de commande et de puissance seront à contrôler afin d'éviter les défauts de fonctionnement liés au mauvais serrage des connections (Puissance et commande pour une période de 6 mois).

IV.1.4.5 Pour les filtres à air et les ventilateurs de soufflage

- Contrôler l'état des filtres. Si nécessaire, nettoyer ou remplacer (ce contrôle se fait d'une façon plus fréquente).
- Assurez-vous que le moteur du ventilateur tourne librement et sans bruit et que les roulements ne chauffent pas.

IV.1.4.6 Pour le voyant

On contrôlera également :

- La qualité de passage du fluide frigorigène dans le voyant liquide : il ne doit pas y avoir de bulles. S'il y a des bulles, cela traduit, dans la plupart des installations, un manque de fluide et donc probablement une fuite.
- La présence d'humidité dans le circuit frigorifique modifie la couleur dans le voyant (dry = sec, wet = humide).

La présence d'humidité pourrait gravement endommager le groupe froid, notamment par la corrosion des vernis sur les enroulements.

Une fuite de fluide provoque un fonctionnement prolongé du compresseur (mais à puissance moindre).

Dans les 2 cas, un dépannage rapide est nécessaire.

IV.2 Détection des pannes

Dans toutes les installations, mécanique, électrique, frigorifique... ; les pannes sont toujours à prévoir pour la fonction continue des machines. Le tableau ci-dessous représente les causes et les symptômes des pannes rencontrées fréquemment dans les installations frigorifiques.

Installation et exploitation d'un système de conditionnement d'air

Causes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
symptômes																						
Pression d'aspiration trop faible	*					*			*								*		*		*	
Pression d'aspiration trop élevée			*	*				*				*	*								*	
Pression de refoulement trop faible			*	*								*									*	
Pression de refoulement trop élevée		*			*								*		*	*	*		*		*	
Pression de refoulement et d'aspiration ont tendance à s'équilibrer		*	*									*	*									
Température d'aspiration trop basse								*									*					
Température d'aspiration très élevée		*					*		*								*				*	
Température de refoulement trop basse								*										*				
Température de refoulement trop élevée		*	*						*			*		*	*	*		*	*	*	*	
Différence exagérer entre les températures d'entrée et sortie d'eau																	*	*				
Différence exagérer entre la température moyenne de l'eau et celle de la condensation																	*	*	*	*		
Niveau d'huile du compresseur trop bas																					*	
Siffllement dû au passage des gaz dans les organes de détente														*	*						*	
Détendeur thermostatique bloqué fermé																						
Evaporateur insuffisamment givré																						
Evaporateur insuffisamment rempli														*	*						*	
Bulles gazeuses apparaissant dans le voyant liquide													*		*						*	
Impossibilité de faire le vide		*	*														*					
Bruits anormaux aux compresseurs															*							
Déclenchement fréquent du pressostat HP		*			*												*	*	*	*	*	
Déclenchement fréquent du pressostat BP	*					*			*			*						*		*	*	
Compresseur démarre trop tôt																						
Compresseur tourne toujours			*	*																	*	
Compresseur ne démarre pas																					*	

Causes	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
symptômes																		
Pression d'aspiration trop faible				*	*	*	*											
Pression d'aspiration trop élevée							*											
Pression de refoulement trop faible								*		*								
Pression de refoulement trop élevée											*							
Pression de refoulement et d'aspiration ont tendance à s'équilibrer																		
Température d'aspiration trop basse									*									
Température d'aspiration très élevée							*	*	*									
Température de refoulement trop basse										*								
Température de refoulement trop élevée							*	*	*	*								
Difference exagérer entre les températures d'entrée et sortie d'eau																		
Différence exagérer entre la température moyenne de l'eau et celle de la condensation																		
Niveau d'huile du compresseur trop bas	*	*				*												
Siffllement dû au passage des gaz dans les organes de détente						*			*									
Détendeur thermostatique bloqué fermé									*	*								
Evaporateur insuffisamment givré																		
Evaporateur insuffisamment rempli							*	*	*									
Bulles gazeuses apparaissant dans le voyant liquide																		
Impossibilité de faire le vide																		
Bruits anormaux aux compresseurs				*												*		
Déclenchement fréquent du pressostat HP															*			
Déclenchement fréquent du pressostat BP								*	*						*	*		
Compresseur démarre trop tôt																*		
Compresseur tourne toujours																*		
Compresseur ne démarre pas																	*	*

Tableau 10 : Détection des pannes sur une installation frigorifique (source formulaire du froid)

Légende :

- 1 : Robinet d'aspiration fermé ou étranglé
 - 2 : Robinet de refoulement fermé ou étranglé
 - 3 : Clapets d'aspiration ou segments de piston non étanches
 - 4 : Clapet de refoulement non étanche
 - 5 : Tuyauterie de refoulement obstruée
 - 6 : Tuyauterie d'aspiration obstrué, mal dimensionnée ou évaporateur mal alimenté
 - 7 : Tuyauterie d'aspiration mal isolée
 - 8 : Débit trop important du détendeur
 - 9 : Débit insuffisant du détendeur
 - 10 : Soulèvement des fonds mobiles par coups de liquide ou corps étranger
 - 11 : Tuyauterie de liquide obstrué partiellement
 - 12 : Robinet de bipasse ouvert ou disque de sécurité crevé
 - 13 : Manomètre déréglé
 - 14 : Thermomètre imprécis
 - 15 : Débit insuffisant d'eau de refroidissement du condenseur
 - 16 : Condenseur encrassé extérieurement ou intérieurement
 - 17 : Evaporateur trop givré ou sale extérieurement ou intérieurement ; présence d'huile
 - 18 : Présence d'air ou de gaz incondensable
 - 19 : Température élevée de l'eau de condensation
 - 20 : Manque de fluide frigorigène
 - 21 : Excès de fluide frigorigène
 - 22 : Filtre d'aspiration obstrué
 - 23 : Robinet fermé sur tuyauterie de retour d'huile
 - 24 : Filtre sur retour d'huile encrassée
 - 25 : Usure de l'emballage, paliers ou segment
 - 26 : Filtre du détendeur obstrué
 - 27 : Manque d'huile
 - 28 : Formation de glace au pointeau du détendeur
 - 29 : Avarie du détendeur
 - 30 : Excès d'huile dans le circuit
 - 31 : Eau de condensation trop froide ou trop abondante
-

- 32 : Débit d'air insuffisant sur le condenseur à air
- 33 : Mauvais réglage du pressostat HP
- 34 : Ventilateur d'évaporateur arrêté
- 35 : Mauvais réglage du pressostat BP
- 36 : Demande trop importante du froid
- 37 : Mauvaise fixation du groupe frigorifique
- 38 : Thermostat réglé trop haut ou détérioré
- 39 : Courant occupe : fusible fondu...
- 40 : Robinet magnétique fermé ou détérioré

CHAPITRE V ETUDE ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

V.1 Notion sur l'environnement

De nos jours les dégradations environnementaux ne cesse pas de s'accroître, dus par les activités humaines, la pollution industrielle, la déforestation, le tavy ...

Inquiet de son avenir, l'humanité se consacre à la protection de l'environnement où plusieurs pays se sont mis d'accord afin de prendre des mesures pour diminuer les effets négatifs de l'activité humaine envers l'environnement depuis la création de l'ONU.

En visant une meilleure intégration et considération de l'environnement au développement, les projets doivent faire l'objet d'une Etude d'Impact Environnementaux (EIE) ou d'un Programme d'Engagement Environnemental (PREE) ; L'évaluation technique se réfère aux articles 22, 7 et 11 du décret MECIE n° 99-954 du 15 décembre 1999, modifié par le décret n° 2004-167 du 03 février 2004, où il s'agit de vérifier :

- Que le contenu de l'étude contient tous les éléments requis dans une telle étude ;
- Que les impacts sont bien identifiés et qualifiés;
- Que les mesures de prévention ou de corrections sont suffisantes et appropriées;
- Que les impacts résiduels sont acceptables.

De plus plusieurs protocoles ont été signés afin de réduire l'émission des réfrigérants nocifs au couche d'ozone et qui provoque le réchauffement climatique.

- le protocole de Montréal, en 1987, impose la limitation de la production de composés néfastes pour l'ozone comme le chlore ou le brome ;
- les protocoles de Londres en 1990 et de Copenhague en 1992 instaurent des mesures plus sévères et voient l'arrêt de la production des CFC au plus tard en 1996 (1995 pour la communauté européenne). Des contrôles d'étanchéité sur les équipements frigorifiques et de climatisation doivent être faits pour limiter les risques de fuite des FF, la commercialisation des CFC est interdite depuis le 01^{er} Octobre 2000 et son utilisation pour la maintenance l'est aussi à partir du 31 Décembre 2000 ; les HCFC ne doivent plus être utilisés depuis le 01^{er} Juillet 2002 pour les systèmes de climatisation fabriqués après le 30 Juin 2002 sauf les PAC ou pompes à chaleur et les systèmes réversibles, etc.
- le protocole de KYOTO en Décembre 1997 voit la lutte contre le réchauffement climatique en centrant son action sur la réduction d'émission de six gaz à effet de serre

(CO₂, CH₄, N₂O, etc.). Une réduction globale par rapport à son niveau de 1990 est signée par les principaux pays pollueurs. Madagascar a également signé ce protocole ;

- la conférence de Marrakech en 2002 met en place les règles permettant de mesurer précisément les émissions de gaz à effet de serre et leurs réductions et adopte le principe de l'application des sanctions contre tout pays irrespectueux de ses engagements de réduction.

V.2 Regards environnementaux

V.2.1 Définitions

V.2.1.1 Environnement

- C'est l'ensemble des composants naturels de la planète et l'ensemble des phénomènes et interactions s'y déroulant, c'est-à-dire, comme tout ce qui entoure l'Homme et ses activités.
- L'environnement serait donc le milieu dans lequel l'individu ou un groupe d'individus évoluent, un milieu incluant les écosystèmes¹ et la biosphère

V.2.1.2 Impact

C'est la différence de la valeur d'état d'une chose qui a subit une activité par rapport à la valeur d'état initial sans l'activité fait.

De ce fait on distingue deux types d'impacts :

- Impacts positifs
- Impacts négatifs

V.2.1.3 Pollution

C'est la contamination de l'eau, l'air, le sol par des agents toxiques qui détériore ou nuise la santé humaine, cycle de l'écosystème..., on peut le dire aussi que c'est la dégradation d'un milieu naturel

V.2.2 EIE du projet

Ce projet intitulé « Installation et exploitation d'un système de conditionnement d'air d'une salle de réunion du bâtiment Hall BTP Vontovorona ESPA » a été fait pour en soutirer

des bénéfices ambiantes pour tous, or ceci cause aussi des effets négatifs pour l'environnement.

De nos jours 20% des dégâts causés sur l'atmosphère sont dus au rejet ou fuite des FF dans les installations frigorifiques et le froid ménager.

V.2.2.1 Impacts positifs

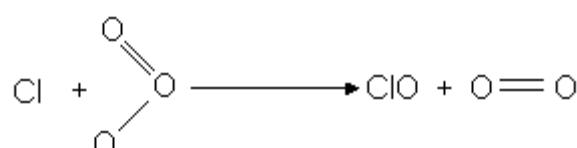
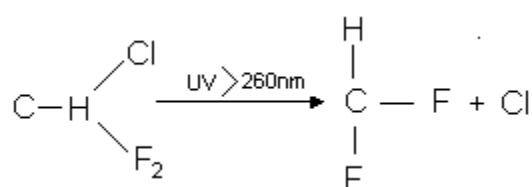
- Possession d'un laboratoire froid
- Possession des appareils pour exécuter des travaux pratiques pour les étudiants qui étudient ou se spécialisent en matière Froid et HVAC,
- Possibilité de se collaborer avec des autres unités ou grandes écoles,
- Epanouissement de la matière « Froid et HVAC » à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo,
- Qualité d'ambiance (confort thermique) du local où se situe notre installation.

V.2.2.2 Impacts négatifs

a) Détérioration de la couche d'ozone

La couche d'ozone est une couche gazeuse très mince constituée de plusieurs molécules d'ozone **O₃**, elle se dégrade très facilement à cause de sa vulnérabilité surtout l'action des ultra violet et aux attaques des composés contenant généralement de l'hydrogène, de l'azote ou du chlore, et les polluants organohalogénés comme les CFC, HCFC... qui sont des agents participant la destruction de l'ozone stratosphérique.

Dans le cas du R22 (CHClF₂) la réaction chimique s'exécute comme suit :



b) Réchauffement de la planète

Le réchauffement de la planète est provoqué par l'intensification de l'effet de serre. L'effet de serre est un phénomène naturel qui nous permet de retenir une partie de la chaleur solaire à la surface de la Terre. Ce phénomène peut être perturbé par l'excès de concentration des gaz à effet de serre qui sont le CO₂, la vapeur d'eau, le méthane CH₄, l'oxyde nitreux N₂O, et les réfrigérants surtout le CFC qui sont dus à des rejets ou fuites des FF.

c) Pollution de l'air

Les installations frigorifiques comme « le nôtre » qui nécessite l'utilisation du fluide frigorigène comme le R22, quand il existe des fuites de gaz, ces gaz émettent des odeurs désagréables de plus ils sont nocifs pour la santé.

d) Pollution sonore

Pour maintenir une vie paisible, la société humaine a besoin de calme et de la sérénité et qui sont vraiment nécessaires ; en outre l'effet sonore qui bruite crée un désordre. En effet, une installation de climatisation provoque des bruits agissant qui peuvent aller jusqu'à 100 dB or les troubles auditifs apparaissent chez l'homme à partir de 65 dB.

V.2.2.3 Mesures à prendre

Vis-à-vis des impacts (surtout négatifs) qu'on a pu voir précédemment, des précautions ou mesures doivent être mises en fonction afin de réduire les conséquences qu'ils peuvent entraînées.

- Choix du fluide frigorigène

Dans chaque cas on a toujours le choix. Concernant les propriétés des FF, ses capacités à détruire la couche d'ozone sont définies par leur potentiel d'action sur la couche d'ozone ou PAO.

➤ PAO = 0 signifie : aucun effet de destruction sur la couche d'ozone

Fluide	R12	R22	R134A	R717	R507	R404	R600
Famille	CFC	HCFC	HFC	Inorganique	Azéotropique	Zéotropique	Hydrocarbure
PAO	0.9	0.05	0	0	0	0	0

Tableau 11 : PAO de quelques fluides frigorigènes

Il existe aussi le PAES : Potentiel d’Action sur l’Effet de Serre ou encore GWP « Global Warming Potential » qui est la capacité d’influencer le réchauffement de la planète. Ceci est un index qui compare l’effet de réchauffement des différents gaz au fil du temps par rapport aux émissions équivalentes de CO₂ (exprimé en masse [kg]).

➤ GWP₁₀₀ : durée d’intégration de 100 ans

Fluide	R12	R22	R134A	R717	R507	R404	R600
Famille	CFC	HCFC	HFC	Inorganique	Azéotropique	Zéotropique	Hydrocarbure
GWP ₁₀₀	7300	1500	1200	<1	3330	3260	3

Tableau 12 : GWP₁₀₀de quelques fluides frigorigènes

- Bien assurer l’étanchéité d’installation pour qu’il n’y ait pas de fuite.
- Si possible mettre la machine dans une salle insonore pour réduire le bruit sonore produit.
- Pour la maintenance il faut munir des masques à gaz et des équipements pour éviter certaines maladies.
- Exécuter la maintenance périodiquement

CONCLUSION

La recherche du confort est devenue aujourd’hui primordiale pour l’homme en raison des différents changements climatiques. Ainsi, l’installation des climatiseurs comme le climatiseur à air et la maîtrise de ses fonctionnements assurent cette sensation de bien-être.

Ce présent mémoire a pour objectif d’installer un tout nouvel système de climatisation tout air appelé le COOLAIR dans le laboratoire froid Vontovorona ESPA. En effet, après trois mois d’installation, on a fini par mettre en place le COOLAIR et à démarrer l’installation. On a pu aussi maîtriser le fonctionnement du système tout air et à équiper le laboratoire froid d’un climatiseur qui traite de l’air pour le confort dans le local. De plus, après la réalisation du projet, on a pu acquérir plus de connaissances dans le domaine « froid ».

Aussi, ce présent ouvrage permettra aux étudiants polytechniciens de faire des travaux pratiques dans le laboratoire froid sur les systèmes de climatisation et aux autres utilisateurs de mieux approfondir leur expériences sur les modes d’installation des climatiseurs tout air

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIE :

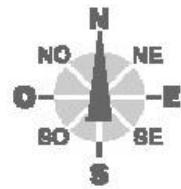
- [1] : ANDRIAMANANARIVO RovaniainaVahandanitra, « Etudes et conception des équipements techniques d'un hôtel de classe 4 étoiles avec 174 chambres », 116p, Mémoire de fin d'études, GENIE INDUSTRIEL promotion 2008
- [2] : RAZAFINDRAIBE Andrinaina, « contribution à la mise en place des fiches de maintenance et analyses d'usure des équipements frigorifiques de oso farming » 72p, Mémoire de fin d'études, GENIE INDUSTRIEL promotion 2006
- [3] : JEAN GEORGE CONAN, « Refrigération industrielle », Edition EYROLLES, Paris 1988,417p.
- [4] : GEORGE V.HART, SAMMIE HART, WILLIAM C.BUCHANAN, “UGLY’S Electrical References”, Revised edition, USA 2008, 186p
- [5]: A.CHEVALIER, « Guide du dessinateur industriel », Hachette technique, Edition 1993-1994, 319p
- [6] : Institut de l’Energie et de l’Environnement de la Francophonie - IEPF -, « Efficacité énergétique de la climatisation en région tropicale », Tome I et II
- [7] : P.J. RAPIN, P. Jacquard, « Aide mémoire - Formulaire du froid », 12^{ème} édition, édition DUNOD, 525p, 2003
- [8] : P.J. RAPIN, P. Jacquard, « Installations frigorifiques », Tome 2, Pyc Edition Livres, 1996,524p.
- [9] : PORCHER G, « Cours de climatisation : Base de calcul des installations de climatisation », 7^{ème} édition, édition parisienne 1993, 320p
- [10] : Yves JANNOT, « Thermique solaire », 75p, octobre 2003

WEBOGRAPHIE

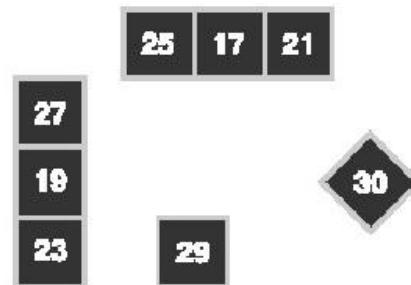
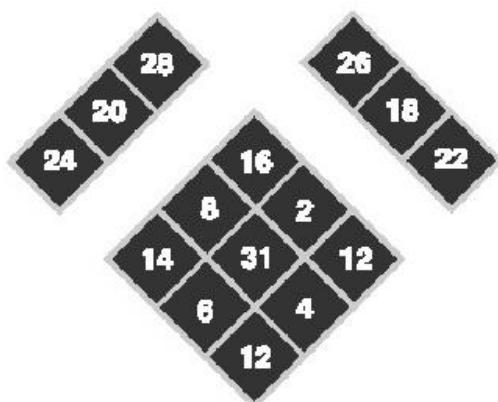
- [1] : www.schleich.com
- [2] : www.abcclim.net
- [3] : www.positionlibre.com
- [4] : <http://voila.net/ach1/index.html>
- [5] : <http://louispayen.apinc.org>
- [6] : www.climweb.com
- [7] : www.tecno-froid.com
- [8] : www.ashrae.org

ANNEXES

ANNEXE 1 : TYPES D'ORIENTATION DES LOCAUX A CLIMATISER



15	1	9
7	31	3
13	5	11



Orientation des locaux	Nombre de murs exposés	Murs exposés
1		N
2		NE
3		E
4	1	SE
5		S
6		SO
7		O
8		NO
9		NE – N – E
10		NE – SE
11		SE – S et E
12	2	SE – SO
13		SO – S et O
14		SO – NO
15		O – N
16		NO – NE
17		N – S
18		NE – SO
19		E – O
20		NO – SE
21		N – E – S
22		NE – SE – SE
23	3	E – S – O
24		SE – SO – NO
25		S – O – N
26		SO – NO – NE

27		O - N - E
28		SO - NO - SE
29	4	N - E - S - O
30		NE - SE - SO - NO
31	néant	

ANNEXE 2 : TABLEAUX USUELS POUR LE CALCUL DES BILANS ET CHARGES THERMIQUES

❖ **CALCUL DES CHARGES EXTERNES**

➤ **Coefficient globaux des charges thermiques U :**

Types de parois	Types d'enduits	Epaisseur [cm]		
		10	15	20
Parpaings creux (aggloméré creux)	Aucun Enduit extérieur et intérieur en béton Plâtres ou carreaux Lattes de bois Panneaux isolants	2,80 2,37 2,55 1,69 1,30	2,65 2,20 2,38 1,64 1,24	2,43 2,09 2,26 1,59 1,18
Béton coulé	Aucun Enduit extérieur et intérieur en béton Plâtres ou carreaux Lattes de bois Panneaux isolants	1,75 1,69 1,59 1,24 1,02	1,41 1,36 1,30 1,02 0,90	1,18 1,14 1,08 0,84 0,79
Briquettes de terre	Aucun Enduit extérieur et intérieur en béton Plâtres ou carreaux	3,25 3,10 2,90	2,20 2,50 2,10	1,62 1,80 1,50
Portes en bois	Châssis simple Châssis double	2,5 3,94 1,97	3,2 3,36 1,86	3,8 3,00 1,94
Toitures	tuiles- ardoises- fibrociment	Sans solivage Avec solivage	5,80 4,06	
	tôles galvanisés ondulés	Sans solivage Avec solivage	9,28 4,64	
Vitrage simple	Châssis en bois Châssis métallique		5,0 5,8	
Vitrage double	Avec lame d'air de 6mm	Châssis en bois Châssis métallique	3,3 4,0	
	Avec lame d'air de 8mm	Châssis en bois Châssis métallique	3,1 3,9	
	Avec lame d'air de 10mm	Châssis en bois Châssis métallique	3,0 3,8	

Différence de température entre les différentes faces des parois :

Types de parois	$\Delta\theta [{}^{\circ}\text{C}]$
Murs extérieurs ensoleillés	$\Delta\theta = \theta_e - \theta_i$
Murs en contacts avec des locaux non conditionnés	$\Delta\theta = \theta_e - \theta_i - 3 {}^{\circ}\text{C}$
Plafond sous comble ventilé	$\Delta\theta = \theta_e - \theta_i + 3 {}^{\circ}\text{C}$
Plafond sous comble non ventilé	$\Delta\theta = \theta_e - \theta_i + 12 {}^{\circ}\text{C}$
Plancher sur terre pleine	$\Delta\theta = +20 {}^{\circ}\text{C} - \theta_i$
Mur en contact avec la cuisine	$\Delta\theta = \theta_e - \theta_i + 18 {}^{\circ}\text{C}$

Facteur de rayonnement solaire :

U : coefficient de transmission thermique de la paroi considéré [$\text{W/m}^2\text{°C}$]	F : coefficient du rayonnement solaire
0	0
1	0,05
2	0,1
3	0,15
4	0,20

Pour les valeurs des coefficients intermédiaires, faire une interpolation.

Coefficient d'absorption « α » :

Couleurs	Nature de la surface	α
Surfaces très claires	Pierre blanche-surface blanche, claire ou crème Ciment très clair	0,4
Surfaces foncées	Fibrociment-bois non peint-pierre brune Brique rouge-ciment foncé-staff rouge, vert ou gris	0,7
Surfaces très foncées	Toitures en ardoises foncées-cartons bitumés très sombre	0,9
Verres (fenêtres ou lanterneaux)	Vitrage simple Vitrage double Vitrage triple	1 0,9 0,8

Facteur de réduction « g » :

Fenêtres protégées	Couleurs	g
Stores extérieurs en toiles	Ecru	0,28
Stores extérieurs en toiles	Aluminium	0,22
Stores intérieurs entièrement baissés	Aluminium	0,45
Stores intérieurs à moitié baissés	Blanc ou crème	0,63
Persiennes entièrement baissés à l'intérieur des fenêtres	Aluminium	0,58
Persiennes entièrement baissés à l'extérieur des fenêtres	Aluminium	0,22

Débit de renouvellement d'air :

Désignation des locaux	Débit minimum d'air neuf sans fumeur [$\text{m}^3/\text{h/pers}$]	Densité d'occupation [pers/ m^2]
Locaux d'enseignement	15 – 18	0,67
Dortoirs, chambres collectives	18	0,25
Bureaux et locaux assimilés	18	0,10

Salles de réunion, spectacle	18	0,31
Boutiques, supermarchés	22	0,08
Café, bar, restaurant	22	0,50
Locaux à usage sportif	18	0,80

Chaleur dégagé par l'éclairage :

Destination du local ou type d'activité	Puissance raccordée [W/m ²]	
	Lampe à incandescence	Lampe fluorescente
Entrepôts, habitats, restaurants, théâtres	25	8
Bureau, salle de cours, hall d'entrée avec caisses et guichet	65	16
Salle de lecture, d'ordinateur, de laboratoire, magasin, hall d'exposition	110	24
Supermarché, très grands bureaux, amphithéâtres sans fenêtres, travaux de précision		45

Chaleur dégagé par les personnes :

Activités	Application	Température ambiante [°C]						Emission thermique totale [W]	
		25°C		26°C		27°C			
		C _s	C _L	C _s	C _L	C _s	C _L		
Assis au repos	Ecole, théâtre	65	37	62	40	60	42	102	
Travail léger	Bureau, hôtel, appartement	67	49	63	59	56	60	116	
Debout, marche lente	Magasin, boutique	68	63	63	68	57	74	131	
Repas	Restaurant	77	84	71	90	64	97	161	
Travail facile	Atelier	80	140	75	148	67	153	220	
Danse	Boite de nuit	88	161	80	69	75	174	249	
Travail difficile	Usine	149	277	142	284	136	290	426	

C_s : Chaleur sensible [W]

C_L : chaleur latente [W]

Chaleur dégagé par les appareillages électriques :

Types d'appareils	Puissance nominales [W]	Gain à admettre [W]	
		C _s	C _L
Friteuse 5litres d'huile	2575	464	696
Friteuse 10litres d'huile	6954	1102	1653
Chauffe pains	435	319	29
Moule à gaufrettes	2192/719	899/319	609/203
Percolateur 2litres	993	394	104
Chauffe eau	146	116	29
Cuisine électrique et machine à laver	3000	1450	1550
Aspirateur	200	50	
Essoreuse	100	15	
Congélateur 200litres	175	500	

Fers à repasser	500	230	270
Chaine stéréophonique	40	40	0
Téléviseur	175	175	0
Séchoir cheveux	500/1000	175/350	75/250
Plaque de cuisson	500/1000	120/250	130/250
Grill à viande	3000	1200	300
Stérilisateur	150	175	325
Ordinateur	400	250	0
Cafetière	500/3000	750	300
Photocopieuse		750	
Imprimante à jet d'encre		52	
Imprimante laser		15	
Fax		62	

ANNEXE 3 : CONVERSION DES UNITES SELON LES NORMES AMERICAINES

- Horsepower :

$$\text{HORSEPOWER} = \frac{E \times I \times \eta}{746}$$

E : tension d'alimentation [Volts]

I : intensité [Ampère]

η : rendement du moteur [%]

- Moteur monophasé :

$$\text{HP} = \frac{E \times I \times \eta \times f}{746}$$

f : facteur de puissance [%]

- Moteur triphasé :

$$\text{HP} = \frac{E \times I \times \eta \times f \times 1.73}{746}$$

- LRA (Locked Rotor Amperage) :

- Moteur monophasé :

$$\text{LRA} = \frac{\text{HP} \times \text{KVAhp} \times 1000}{E}$$

KVAhp : KiloVoltsAmpères par horsepower

E : tension d'alimentation

- Moteur triphasé :

$$\text{LRA} = \frac{\text{HP} \times \text{KVAhp} \times 1000}{E \times 1,73}$$

- US Gallons :

1 US Gallons = 3, 78 [litres]

- Lbs :

1 Lbs = 0, 45359237 [kg]

- BTU :

1 BTU = 1053 [J]

Noms : RAKOTONAIVO MANANDAHATRA

Prénoms : Tsiferanarivo Vahinimamy

Contacts : 033 02 570 58

E-mail : rdatsy@yahoo.fr

Thème : « **INSTALLATION ET EXPLOITATION D'UN SYSTEME DE CONDITIONNEMENT D'AIR DANS LE LABORATOIRE FROID VONTOVORONA ESPA** »

Nombres de pages : 77

Nombres de tableaux : 12

Nombres de figures : 38

RESUME

Ce présent travail est le fruit de la collaboration entre l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo et l'Ambassade des Etats-Unis d'Amérique. On a pu ainsi équiper et installer un système de conditionnement d'air le laboratoire froid sis à Vontovorona. L'étude et la mise en place de cette installation nous a permis de maîtriser les caractéristiques spécifiques du COOLAIR ainsi que ses fonctionnements. Cet ouvrage permettra aux étudiants d'approfondir leur connaissance sur les installations de climatisations industrielles et de bâtiments.

ABSTRACT

This work is the fruit between the “Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo” and the Embassy of the United States of America. We have equipped and installed a system of air-conditioning the cold laboratory of Vontovorona. The survey and the setting up of this installation allowed us to master all the specific characteristics of the COOLAIR as well as its working. This work will allow the students to deepen their knowledge on facilities of industrial air-conditioning and buildings.

Mots clés : COOLAIR , conduit, froid, conditionnement d'air, climatisation

Directeur de mémoire : RANAIVOSON Andriambala H.

Maître de conférences