



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE  
D'ANTANANARIVO



Département Génie Mécanique & Productique

Génie Electrique

Filière : Génie Industriel

« *Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Licence ès Science Technique* »

MANIPULATION DES FLUIDES  
FRIGORIGENES :  
CHARGE ET RECUPERATION

Présenté par : Mademoiselle FANOMEZAMALALA Domoina Mirana

Encadreur pédagogique : Monsieur RANAIVOSON Andriambala Hariniaina ; Maître de conférence à l'ESPA.

Encadreur professionnel : Monsieur RABEMANANJARA Rivomalala ; point focal Ozone au Ministère de l'Environnement.

Date de soutenance : 29 Avril 2011

*Promotion 2010*



**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO**  
**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE**  
**D'ANTANANARIVO**



**Département Génie Mécanique & Productique**

**Génie Electrique**

**Filière : Génie Industriel**

*« Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Licence ès Science Technique »*

**MANIPULATION DES FLUIDES  
FRIGORIGENES :  
CHARGE ET RECUPERATION**

Présenté par : Mademoiselle FANOMEZAMALALA Domoina Mirana

**Membres de jury :**

Encadreur pédagogique : Monsieur RANAIVOSON Andriambala Hariniaina ; maître de conférence à l'ESPA.

Encadreur professionnel : Monsieur RABEMANANJARA Rivomalala ; point focal Ozone au Ministère de l'Environnement.

Président de jury : Monsieur RANDRIAMORASATA Josoa, professeur et enseignant chercheur à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.

**Examineurs :**

- Monsieur RANDRIANATOANDRO Grégoire, enseignant à l'Ecole Supérieure d'Antananarivo.
- Monsieur RASOLOFOARINDRIAKA Allain Roger, enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.

*Promotion 2010*

## REMERCIEMENTS

Primordialement, permettez-moi de remercier Dieu tout Puissant, qui m'a donné la force durant les nombreuses années d'études, ainsi qu'à la réalisation de ce mémoire.

Ensuite, j'adresse mes vifs et sincères remerciements envers les personnes physiques et morales suivantes :

- Monsieur ANDRIANARY Philippe Antoine, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo qui m'a accordé trois années d'étude afin d'obtenir le diplôme en Licence-ès Science Technique en Génie Industriel.
- Monsieur RAKOTONIAINA Solofohery, et Monsieur RAKOTOMANANA Charles Rodin, chefs des Départements au sein de la filière Génie Industriel.
- Monsieur RANDRIAMORASATA Josoa, Professeur et enseignant-chercheur à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo qui a accepté de présider les jurys de ce mémoire.
- Monsieur RANAIVOSON Andriambala Hariniaina, maître de conférences à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, et rapporteur de ce mémoire qui, malgré ses lourdes responsabilités, a consacré du temps pour bien mener ses encadrements et ses précieux conseils.
- Monsieur RABEMANANJARA Rivomalala, point focal Ozone, au Ministère de l'Environnement, mon encadreur professionnel qui m'a donné les documents nécessaires pour la réalisation de ce mémoire.
- A tous les membres de jury pour leurs disponibilités et humilités d'avoir accepté de participer à cette soutenance, notamment :
  - ❖ Monsieur RANDRIANATOANDRO Grégoire, enseignant-chercheur à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.
  - ❖ Monsieur RASOLOFOARINDRIAKA Allain Roger, enseignant-chercheur à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.

J'exprime également un grand remerciement à tous les membres de ma famille qui m'ont soutenu matériellement et moralement pendant mes études.

Enfin, j'émet un message de courage à tous mes amis, qui m'ont prouvé leur amitié par des aides et conseils pendant les trois années d'étude à l'ESPA.

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma du fonctionnement d'une machine motrice .....	4
Figure 2 : Schéma du principe de fonctionnement des machines frigorifiques.....	5
Figure 3 : Schéma du diagramme enthalpique mono-étagé du R134a .....	7
Figure 4 : Schéma du diagramme enthalpique bi-étagé du R134a .....	8
Figure 5 : Schéma d'un circuit frigorifique élémentaire.....	15
Figure 6 : Numérotation de la chambre froide.....	35
Figure 7 : Photo d'un détecteur électronique.....	48
Figure 8 : Photo d'une pompe à vide.....	49
Figure 9 : Schéma de montage d'un tirage au vide.....	50
Figure 10 : Schéma de montage d'un cassage au vide.....	52
Figure 11 : Schéma du branchement d'un by-pass .....	53
Figure 12 : Montage de la charge en fluide frigorigène.....	56
Figure 13 : Schéma du montage de transfert liquide par gravité .....	61
Figure 14 : Schéma du montage de transfert liquide par dépression .....	62
Figure 15 : Schéma du montage d'un transfert liquide par pompe centrifuge.....	64
Figure 16 : Schéma du montage d'un transfert liquide par pompe pneumatique .....	65
Figure 17 : Schéma du montage d'un transfert en phase vapeur .....	67

## LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1 : Données nécessaires pour la construction du diagramme de R134a .....	6
Tableau 2 : Propriété des CFC .....	19
Tableau 3 : Propriété des HCFC .....	20
Tableau 4 : Propriété des HCF .....	20
Tableau 5 : Propriété des fluides naturels .....	21
Tableau 6 : Calendrier d'élimination de certaines SAO pour les pays développés .....	27
Tableau 7 : Epaisseur de chaque composant constituant le sol .....	33
Tableau 8 : Résistances thermiques superficielles des parois d'une chambre froide .....	34
Tableau 9 : Conductivité thermique $\lambda$ des différentes couches constituant le sol de la chambre froide .....	35
Tableau 10 : Résultats des charges thermiques par transmission des parois .....	36
Tableau 11: Durée de transit des différents types de marchandises .....	38
Tableau 12 : Coefficient d'occupation du sol $\eta_0$ en fonction du type d'entreposage .....	38
Tableau 13 : Quantité de chaleur dégagée par personne par unité de temps .....	39
Tableau 14 : Longueur de la tuyauterie .....	41
Tableau 15 : Pression de la vapeur d'eau en fonction de la température.....	51

## ABREVIATIONS ET SYMBOLES

**BP** : Basse pression  
**C** : cylindrée [ $\text{dm}^3$ ]  
**COP** : Coefficient de performance  
**CFC** : chlorofluorocarbure  
**C<sub>pa</sub>** : capacité thermique massique de l'air [ $\text{KJ/Kg}$ ]  
**C<sub>w</sub>** : capacité thermique massique de l'eau [ $\text{KJ/Kg}$ ]  
**c** : contenance de la chambre froide [tonne]  
**C<sub>ra</sub>** : coefficient de minoration due à la présence éventuelle de rideau d'air  
**dS** : Variation d'entropie  
**d** : alésage des cylindres [mm]  
**d<sub>r</sub>** : diamètre du rotor [mm]  
**D** : alésage du rotor [mm]  
**d<sub>e</sub>** : densité d'entreposage [ $\text{Kg/m}^3$ ]  
**d<sub>t</sub>** : durée de transit de marchandises [min/tonne]  
 **$\Delta\theta$**  : variation de température [K]  
**e** : épaisseur [m]  
**E<sub>ciné</sub>** : Energie cinétique [cal]  
**E<sub>pot</sub>** : Energie potentielle [cal]  
**f<sub>j</sub>** : flux journalier des marchandises [tonne/j]  
**GWP** : Global Warming potential  
**H** : enthalpie [ $\text{KJ/Kg}$ ]  
**HCFC** : hydrochlorofluorocarbure  
**HFC** : hydrofluorocarbure  
**HP** : haute pression  
**h** : hauteur [m]  
**h<sub>ae</sub>** : enthalpie de l'air extérieure [ $\text{KJ/Kg}$ ]  
**h<sub>aa</sub>** : enthalpie de l'air ambiante [ $\text{KJ/Kg}$ ]  
**h<sub>g</sub>** : hauteur maximale de gerbage [m]  
**K** : coefficient global d'échange thermique [ $\text{w. m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]  
**l** : largeur [m]  
**l<sub>p</sub>** : course des pistons [mm]  
**L** : longueur [m]  
 **$\lambda$**  : conductivité thermique [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]  
**m** : masse [Kg]  
**m<sub>ae</sub>** : débit masse d'air admis [ $\text{kg.s}^{-1}$ ]  
 **$\eta$**  : rendement  
**n** : vitesse de rotation [tr/min]  
**N** : nombre de cylindres  
**ODP** : Ozone Depletion Potential

**P** : pression [bar]  
**p** : puissance mécanique [W]  
**Q** : quantité de chaleur ou charge thermique [cal]  
**Q<sub>o</sub>** : puissance frigorifique [KW]  
**Q<sub>k</sub>** : quantité de chaleur à évacuer au condenseur  
**Q<sub>i</sub>** : charge thermique par transmission à travers une paroi [W]  
**Q<sub>tr</sub>** : charge thermique par transmission à travers les parois [W]  
**Q<sub>re</sub>** : charge thermique par renouvellement d'air [W]  
**Q<sub>pe</sub>** : charge thermique due aux personnes [W]  
**Q<sub>de</sub>** : charge thermique due aux denrées entrantes [W]  
**Q<sub>resp</sub>** : charge thermique due aux respirations des denrées [W]  
**Q<sub>tot</sub>** : charge thermique totale [W]  
**q<sub>vw</sub>** : débit volumique de l'eau [m<sup>3</sup>/s]  
**q<sub>mw</sub>** : débit massique de l'eau [Kg/s]  
**q<sub>ma</sub>** : débit massique de l'air [Kg/s]  
**q<sub>vasp</sub>** : débit volumique à l'aspiration [m<sup>3</sup>/s]  
**ρ** : masse volumique [Kg/m<sup>3</sup>]  
**ρ<sub>0</sub>** : masse volumique à 0°C [kg.m<sup>-3</sup>]  
**ρ<sub>aa</sub>** : masse volumique d'air à l'intérieur de la chambre froide [kg.m<sup>-3</sup>]  
**ρ<sub>ae</sub>** : masse volumique d'air à l'extérieur de la chambre froide [kg.m<sup>-3</sup>]  
**ρ<sub>ae</sub>** : masse volumique de l'eau  
**S** : surface [m<sup>2</sup>]  
**SAO** : Substances qui Appauvrissent l'Ozone  
**T** : température [°C]  
**τ<sub>p</sub>** : temps d'ouverture de la porte [s]  
**τ** : durée de présence de chaque personne dans la chambre froide [s]  
**U** : énergie interne [cal]  
**V** : volume [m<sup>3</sup>]  
**W** : travail [J]  
**1/h<sub>i</sub>** : résistance thermique superficielle interne [m<sup>2</sup>.K.W<sup>-1</sup>]  
**1/h<sub>e</sub>** : résistance thermique superficielle externe [m<sup>2</sup>.K.W<sup>-1</sup>]

## INTRODUCTION

Actuellement, le froid est devenu une forme d'énergie importante dans notre société ; Surtout dans les secteurs industriels (il est utilisé comme moyen de conservation des denrées, climatisation, et refroidissement, etc.).

Pour assurer la production du froid, les systèmes frigorifiques nécessitent des fluides frigorigènes ; Souvent néfastes pour l'environnement et dangereux pour la santé. Les pertes de réfrigérant dans l'atmosphère doivent être réduites le minimum possible pour éviter les risques qui peuvent se produire.

En effet, des procédures techniques doivent être liées à l'utilisation des fluides frigorigènes dans une installation frigorifique. C'est ainsi que ce présent mémoire intitulé : « MANIPULATION DES FLUIDES FRIGORIGENES : CHARGE ET RECUPERATION » est proposé pour maîtriser la manipulation des fluides frigorigènes lors de son utilisation dans une installation.

Pour la mise en œuvre de ce travail, nous allons le subdiviser en deux grandes parties : D'abord la première partie, qui parle de la généralité sur l'utilisation des fluides frigorigènes ; comporte trois chapitres successifs : La notion sur la production du froid, les fluides frigorigènes et huiles frigorifiques, et la protection de l'environnement close cette partie. Ensuite, la seconde partie qui s'intéresse à la manipulation des fluides frigorigènes proprement dite ; Elle comprend également trois chapitres ; A savoir : L'étude de calculs de la quantité de charge en fluide frigorigène d'une installation, ensuite, la mise en service de cette installation et pour terminer le procédé de récupération des fluides frigorigènes.



*PARTIE I :*  
*GENERALITES SUR*  
*L'UTILISATION DES*  
*FLUIDES*  
*FRIGORIGENES*

---

## **Chapitre I : Notion sur la production du froid**

Des physiciens ont affirmé que tous phénomènes physiques sont véhiculés par un fluide y compris l'échange d'énergie.

### **I. Principe de la thermodynamique**

La thermodynamique est la science qui étudie un système et son évolution en fonction des échanges d'énergie avec le milieu extérieur. Elle est basée sur deux principes :

#### **I.1. Enoncé des principes de la thermodynamique**

##### **I.1.1. Premier principe de la thermodynamique**

Considérons un système non isolé qui se déplace d'un état initial (1) à un état final (2) ; il subit une transformation.

Rappelons qu'en mécanique, l'énergie interne  $U$  d'un système est la somme de son énergie cinétique  $E_{\text{ciné}}$  et de son énergie potentielle  $E_{\text{pot}}$ . Et on a la relation suivante :

$$U = E_{\text{ciné}} + E_{\text{pot}} \quad [\text{en Cal}] \quad (1)$$

En généralisant la relation (1), on peut affirmer que le système non isolé considéré possède une énergie interne qui est une fonction d'état. Au cours de la transformation, la variation de cette énergie peut être définie par :

$$U = U_2 - U_1 \quad [\text{en Cal}] \quad (2)$$

A part la variation d'énergie, le système est aussi soumis à deux forces extérieures qui peuvent effectuer un travail  $W$  et une échange d'énergie sous forme de chaleur  $Q$  ; D'où la relation suivante :

$$W + 4,18.Q = U_2 - U_1 \quad [\text{en J}] \quad (3)$$

Avec  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$

Pour un cycle ou une transformation fermée,  $U_2 = U_1$  alors la relation (3) devient :

$$W + JQ = 0 \quad (4)$$

On suppose que tout au long d'une transformation isobare, la pression du système est initialement en équilibre ; De même avec l'extérieur : La pression extérieure  $P_{\text{ext}}$  est égale à la pression intérieure  $P_{\text{int}}$ , et le volume passe de  $V_1$  à  $V_2$ . Le travail des forces de pression extérieure devient alors :  $W = -P_{\text{ext}} \cdot (V_2 - V_1) = -P_{\text{int}} \cdot (V_2 - V_1) = -P \cdot (V_2 - V_1)$  (5)

D'après les relations (3) et (5), on a la relation suivante :

$$U_2 - U_1 = JQ - P \cdot (V_2 - V_1) \quad (6) \quad \text{ou bien ;}$$

$$(U_2 + PV_2) - (U_1 + PV_1) = JQ \quad (7)$$

Posant,  $U + PV = H$  ; où  $H$  est l'enthalpie ou la chaleur totale indépendante du chemin suivi ; d'où l'énoncé du premier principe de la thermodynamique :

$$JQ = H_2 - H_1 \quad (8)$$

Toute transformation thermodynamique peut être mesurée par variation d'enthalpie.

### **I.1.2. Second principe de la thermodynamique**

Le second principe de la thermodynamique, ou principe de Carnot, établit l'irréversibilité des phénomènes physiques, en particulier les échanges thermiques. Ce principe montre la source chaude qui fournit une quantité de chaleur  $Q_1$  dégagant au niveau du condenseur ; Et la source froide qui reçoit une quantité de chaleur  $q_2$  venant des denrées.

Selon Carnot « le rapport de la quantité de chaleur échangée par le système avec la source chaude à celle échangée avec la source froide est constant. »

$$\frac{Q_1}{q_2} = \frac{Q'_1}{q'_2} = \dots = \frac{T_1}{T_2} = \text{constante} \quad (9)$$

Le second principe introduit une fonction d'état appelée entropie  $S$ , qui est considérée comme une mesure de désordre et indépendante du chemin suivi ; D'où l'énoncé du second principe de la thermodynamique :

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (10)$$

Toute transformation thermodynamique s'effectue avec une augmentation de l'entropie.

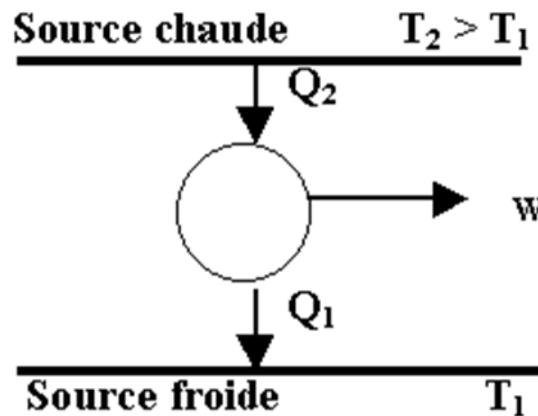
## I.2. Machines thermodynamiques

La machine thermodynamique est une machine thermique ditherme, au cours de son fonctionnement, le fluide change de phase (liquide-gaz). Ce système fournit un travail  $W$  après avoir reçu la chaleur du milieu extérieur ; C'est pourquoi qu'on l'appelle aussi machine motrice. C'est le cas des :

- Machines à vapeur (ex : bateau à vapeur)
- Moteur à combustion (à essence ou diesel)
- Centrale thermique ou nucléaire (production d'électricité)

Pour cela :

- $W < 0$
- $Q_1 > 0$
- $Q_2 < 0$



*Figure 1 : Schéma du fonctionnement d'une machine motrice*

La transformation de chaleur en travail à partir de la source chaude n'est possible qu'à condition de rejeter une partie de la chaleur à une source froide. Cette chaleur rejetée influera sur les performances de la machine, ce qui implique au second principe la notion du rendement thermique ( $\eta$ ) qui est toujours inférieur à 1.

$$\eta = \frac{W_{\text{fourni}}}{Q_{\text{prélevée}}} = \frac{W}{Q} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} < 1 \quad (11)$$

Avec  $Q_1$  : la quantité de chaleur fournie à la source froide

Et  $Q_2$  ; la quantité de chaleur fournie par la source chaude

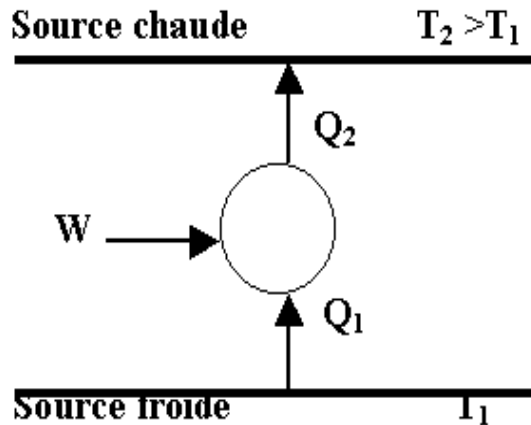
### I.3. Machines dynamothermiques

Les machines dynamothermiques sont également des machines thermiques dithermes, qui prennent la chaleur de la source froide pour en fournir à la source chaude. Puisqu'un transfert ne peut se faire spontanément, on doit fournir du travail à la machine. C'est le cas des :

- Machines frigorifiques ou pompes à chaleur ;
- Liquéfacteurs de gaz.

Pour cela :

- $W > 0$
- $Q_1 < 0$
- $Q_2 > 0$



*Figure 2 : Schéma du principe de fonctionnement des machines frigorifiques*

**NB** : Quand il y a extraction de la chaleur à la source froide, c'est qu'il y a production de froid, on a alors une machine frigorifique. Par contre, s'il y a dégagement de chaleur à la source chaude, c'est une production de chaleur donc il s'agit d'une pompe à chaleur.

Ces machines utilisent des fluides frigorigènes pour assurer leur fonctionnement. Et elles possèdent un coefficient de performance supérieur à 1.

❖ Pour la pompe à chaleur : 
$$\eta = \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} > 1 \quad (12)$$

❖ Pour la machine frigorifique : 
$$\eta = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} > 1 \quad (13)$$

Où  $Q_1$  : la quantité de chaleur fournie par la source froide

Et  $Q_2$  : la quantité de chaleur cédée à la source chaude

## II. Diagramme de Mollier

Le diagramme de Mollier ou diagramme enthalpique s'obtient par la combinaison du diagramme de Carnot avec la courbe d'Andrews. Il permet de représenter toutes les évolutions qu'un fluide frigorigène peut subir au cours de chaque transformation.

Chaque fluide possède un diagramme d'exploitation, parmi, il y a les diagrammes mono-étagés et les diagrammes bi-étagés. Au niveau de la courbe de saturation du diagramme, l'état d'un fluide se présente comme le suivant :

- Au dessus de la courbe, il y a la zone critique ;
- A l'intérieur de la courbe se présente un fluide mélange liquide-vapeur ;
- A droite de la courbe, le fluide est à l'état vapeur ;
- A gauche de la courbe il est à l'état liquide.

Prenons un exemple de fluide le R 134a, dont les caractéristiques du circuit frigorifique sont représentées par le tableau ci-après.

Evaporateur	Condenseur	compresseur
<ul style="list-style-type: none"><li>- Température = <math>-20^{\circ}\text{C}</math></li><li>- Surchauffe = 5 K</li><li>- Pertes de charge = 0 bar</li><li>- Puissance frigorifique = 150 kw</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Température = <math>40^{\circ}\text{C}</math></li><li>- Sous refroidissement = 5 K</li><li>- Perte de charge = 0 bar</li></ul>	Le rendement isentropique est de 0.8

*Tableau 1 : Données nécessaires pour la construction du diagramme de R134a*

### II.1. Cycle mono-étagé

Après avoir fait le calcul des paramètres nécessaires pour la construction du diagramme enthalpique mono-étagé avec le logiciel Solkane 6.0. On a les résultats suivants :

- Puissance de l'évaporateur = 150 KW ;
- Puissance du condenseur = 208 KW ;
- Puissance du compresseur = 57.8 KW ;
- COP = 2.6 ;
- Rapport de compression = 7.66 ;

- Différence de pression= 8.84 bar ;
- Débit massique= 1060.4 g/s ;
- Débit volumique= 575.9 m<sup>3</sup>/h ;
- Capacité volumétrique= 938 KJ/m<sup>3</sup>

Et voici le diagramme obtenu :

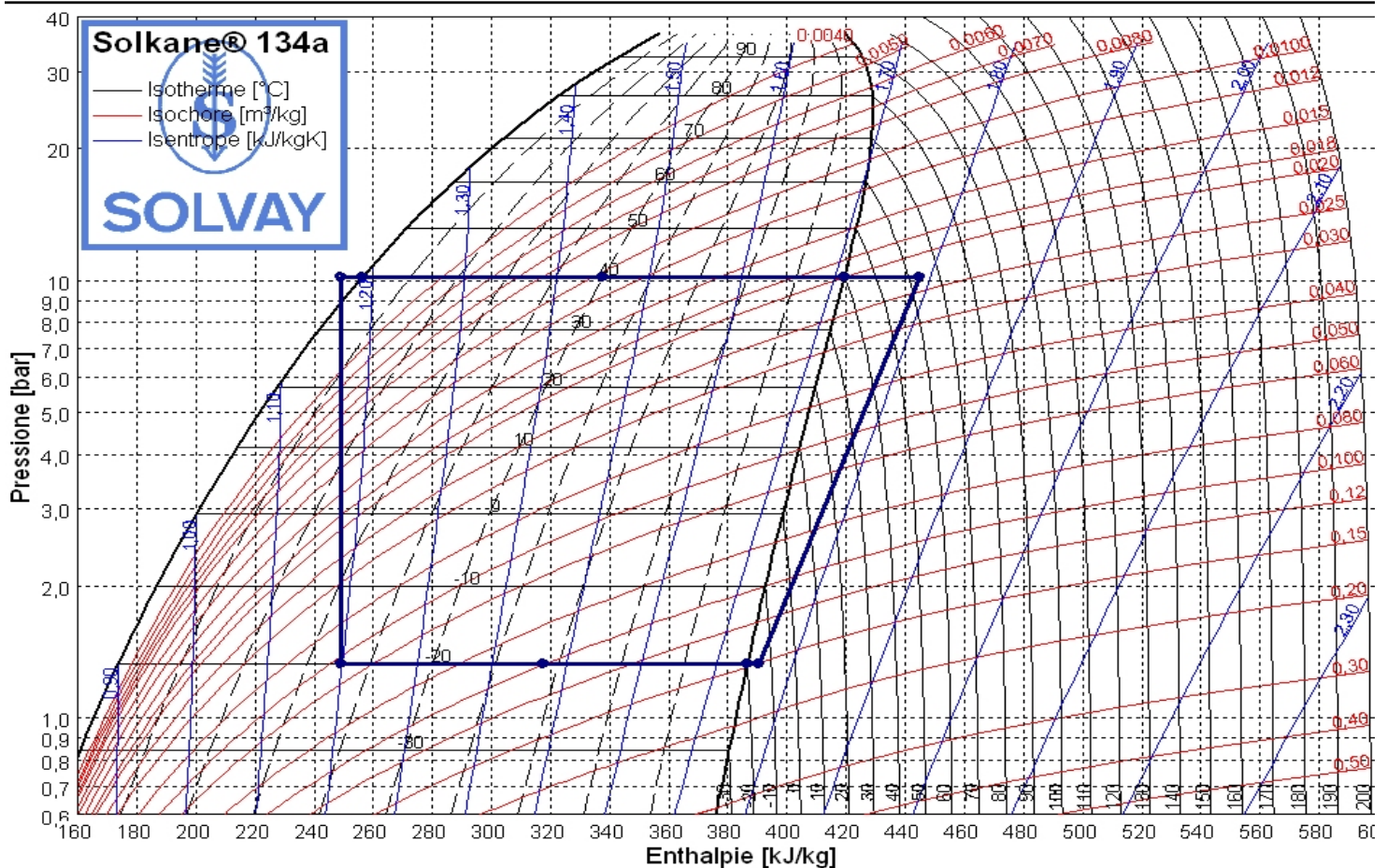


Figure 3 : Schéma du diagramme enthalpique mono-étagé du R134a

L'axe des ordonnées représente la pression absolue (en bar) et à l'axe des abscisses l'enthalpie du fluide exprimé en KJ/Kg. La courbe en noir représente l'isotherme (à température constante), les courbes en rouge représentent les isochores (à volume constante), et celles en bleu sont les isentropes.

## II.2. Cycle bi-étagé

Après calcul des paramètres nécessaires pour la construction du diagramme enthalpique bi-étagé du R 134a avec le logiciel Solkane 6.0. On a les résultats suivants :

- Puissance de l'évaporateur = 150 KW ;
- Puissance du condenseur = 201 KW ;
- Puissance du compresseur = 28.1 (BP) et 29.4 (HP) ;
- Puissance du refroidisseur intermédiaire = 6.98 KW ;
- COP = 2.61 ;
- Rapport de compression = 2.77 (BP) et 2.77 (HP) ;
- Différence de pression = 2.35 bar (BP) et 6.49 bar (HP) ;
- Débit massique = 106.4 g/s chacun des cotés BP et HP ;
- Débit volumique à l'aspiration = 575.9 m<sup>3</sup>/h (BP) et 222.4 m<sup>3</sup>/h (HP) ;
- Capacité volumétrique = 938 KJ/m<sup>3</sup>

On obtient le diagramme suivant :

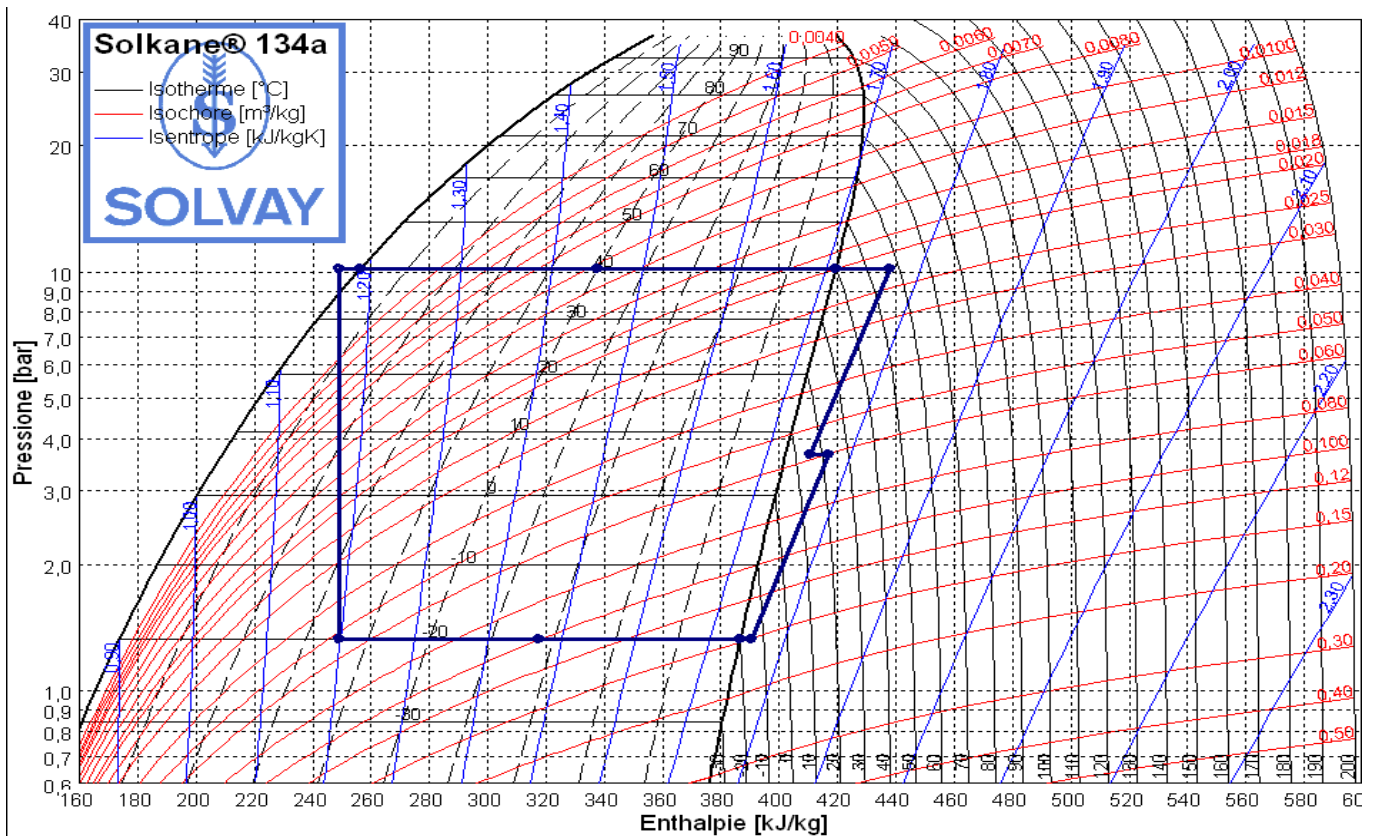


Figure 4 : Schéma du diagramme enthalpique bi-étagé du R134a



Pour avoir une très basse température d'évaporation, on utilise une machine à deux étages (qui possède deux compresseurs, côté BP et HP). Pour cela le fluide vapeur est aspiré par le premier compresseur (BP), puis il se désurchauffe dans une bouteille intermédiaire avant d'être aspiré de nouveau par le second compresseur (HP).

### **II.3. Principaux éléments du circuit frigorifique**

Un circuit frigorifique doit avoir quatre éléments principaux pour assurer son fonctionnement :

#### **II.3.1. Le compresseur**

Le compresseur est dit « cœur » du circuit frigorifique ; Il aspire le fluide frigorigène gazeux (sous une très basse température et basse pression) provenant de l'évaporateur, le comprime (à haute température et haute pression) et puis le refoule vers le condenseur.

Il existe deux grandes catégories de compresseur :

##### **II.3.1.1. Les compresseurs volumétriques**

Il y a plusieurs types de compresseur volumétrique :

- **Compresseur à piston** : Parmi le compresseur à piston alternatif, le plus connu, dont la compression est obtenue par le déplacement de pistons dans une cylindre. Il y aussi les compresseurs à piston axial utilisés dans la climatisation automobile. Le volume balayé par les pistons de ces compresseurs est appelé cylindrée C, avec :

$$C = \left[ \frac{\pi d^2}{4} * l_p * N \right] . 10^{-6} \quad [\text{en dm}^3] \quad (14)$$

Et le débit volumique  $q_v$  est :

$$q_v = C * \frac{n}{60} * 10^{-3} \quad [\text{en m}^3/\text{s}] \quad (15)$$

**d** : L'alésage des cylindres en mm ;

**$l_p$**  : La course des pistons en mm ;

**N** : Le nombre de cylindres ;

**n** : La vitesse de rotation en tours/mn

- **Compresseur rotatif ou compresseur à palette** : Dont la compression est obtenue par le déplacement d'un corps cylindrique creux d'une masse excentrique agissant sur une

palette mobile. La cylindrée  $C$  est la valeur de l'espace balayée par les palettes pour un tour du rotor.

$$C = \frac{\pi(D^2 - d_r^2)}{4} * L * 10^{-6} \quad [\text{en dm}^3] \quad (16)$$

Et le débit volumique  $q_v$  est :

$$q_v = C * \frac{n}{60} \quad [\text{en dm}^3/\text{s}] \quad (17)$$

$D$  : L'alésage du stator en mm ;

$d_r$  : Le diamètre du rotor ;

$L$  : La longueur du stator et du rotor en mm

- **Compresseur scroll ou compresseur à spirale** : La compression est obtenue par la rotation d'une spirale mobile dans une spirale fixe.
- **Compresseur à vis** : Composé des compresseurs monorotors et birotors, où leurs cylindrées et débits volumiques sont définis par les formules ci-après :

Pour les birotors :

$$C = d_1^2 l * 10^{-6} \quad [\text{en dm}^3] \quad (18)$$

$$q_v = A d^3 * \frac{l}{d} * \frac{n}{60} * 10^{-9} \quad [\text{en m}^3/\text{s}] \quad (19)$$

Où  $d_1$  est le diamètre du plus grand rotor,

$A$  une constante et  $n$  la vitesse de rotation

Pour les monorotors :

$$C = d^2 l * 10^{-6} \quad [\text{en dm}^3] \quad (20)$$

$$q_v = B * d^3 * \frac{n}{60} * 10^{-9} \quad [\text{en m}^3/\text{s}] \quad (21)$$

$B$  une constante

### **II.3.1.2. Les compresseurs centrifuges ou turbocompresseurs**

Ce compresseur est utilisé dans les installations de grandes puissances ; L'énergie cinétique dont la conservation sert à augmenter la pression de la vapeur, est obtenue par la transformation d'une force centrifuge en pression statique dans la volute.

Le compresseur est entraîné par un moteur électrique ; Selon le type de liaison entre le moteur et le compresseur, on peut distinguer :

#### **II.3.1.3. Les compresseurs hermétiques**

Les deux parties sont enfermées dans une enceinte soudée et sont supportées par un ressort pour éviter la transmission des vibrations. Pour cela le refroidissement est effectué par le fluide frigorigène liquide.

#### **II.3.1.4. Les compresseurs ouverts**

Les deux parties sont dans deux carters indépendants, ce qui nécessite un joint tournant pour réaliser l'étanchéité du passage de l'arbre vers l'extérieur. On peut alors régler la vitesse de rotation et changer la poulie du moteur, cependant, la bonne étanchéité d'un joint tournant au fluide frigorigène est délicate à réaliser d'autant plus qu'elle doit être réalisée en rotation et à l'arrêt.

#### **II.3.1.5. Les compresseurs semi-hermétiques**

Le moteur est boulonné sur le compresseur. Ces compresseurs ont la possibilité d'accès à d'autres éléments, se sont des compresseurs hermétiques accessibles. L'étanchéité est réalisée par un joint fixe, et le refroidissement par l'admission du fluide frigorigène gazeux provenant de l'évaporateur qui circule au travers des enroulements du moteur électrique.

### **II.3.2. Le condenseur**

C'est un échangeur de chaleur qui permet d'évacuer la chaleur contenue dans le fluide frigorigène gazeux provenant du compresseur, en le liquéfiant. Cette condensation est obtenue par le refroidissement du fluide frigorigène gazeux à pression constante par un médium (eau ou air). La quantité de chaleur à évacuer au condenseur sera toujours plus élevée que la quantité du froid produite à l'évaporateur.

$$Q_k = Q_0 + p \quad [\text{en Watts}] \quad (22)$$

$Q_k$ : La quantité de chaleur à évacuer au condenseur

$Q_0$ : La production frigorifique brute en W

$p$ : La puissance mécanique nécessaire pour la compression du fluide en W

On distingue deux types de condenseur :

### II.3.2.1. Condenseur à air

Il existe :

- Le condenseur à convection naturelle (qui ne possède pas de ventilateur), composé de condenseurs à tubes lisses et à tubes à palettes.
- Le condenseur à convection forcée, composé de condenseurs à convection forcée verticale où la vapeur surchauffée entre par le collecteur supérieur et le liquide sous refroidi sort par le collecteur inférieur.

Pour limiter les pertes de charge, il faut que la vitesse moyenne de l'air soit comprise entre **2 et 4 m/s**. Le débit massique de l'air sera égal à :

$$q_{ma} = \frac{Q_k}{(C_{pa} * \Delta\theta)} \quad [\text{en Kg}] \quad (23)$$

$q_{ma}$  : Le débit massique d'air

$C_{pa}$  : La capacité thermique massique de l'air en KJ/Kg et # 1 KJ/Kg

$\Delta\theta$  : La variation de température entre l'entrée et sortie ( $\Delta\theta_s - \Delta\theta_e$ ) du condenseur

### II.3.2.2. Condenseur à eau

Il est nécessaire si le réchauffement de l'air ambiant peut avoir un inconvénient pour l'utilisateur. Il peut associer à des tours de refroidissement qui assurent le recyclage de l'eau. On distingue : Le condenseur à eau perdue et le condenseur à eau recyclée.

Pour le tour de refroidissement, une partie de l'eau échauffée dans le condenseur s'évapore dans l'air qui refroidit la fraction restée liquide ; Cette eau refroidie est récupérée dans un bac pour être renvoyée de nouveau dans le condenseur.

**NB** : La chaleur cédée au fluide frigorigène dans le condenseur est utilisée pour vaporiser une partie de l'eau.

Le débit massique de l'eau est égal à :

$$q_{mw} = \frac{Q_k}{(C_w * \Delta\theta)} \quad [\text{en Kg/s}] \quad (24)$$

Avec  $C_w$  : La capacité thermique massique de l'eau

Parmi les tours de refroidissement, il y a : Le tour à circuit ouvert, pour cela l'eau de refroidissement est en contact direct avec l'air ambiant. Et le tour à circuit fermé, l'eau de refroidissement est en contact avec l'air ambiant mais à travers un échangeur de chaleur.

(Pour les avantages et inconvénients de ces condenseurs voir annexe I)

### **II.3.2.3. Condenseur évaporatif**

Il regroupe dans un même appareil le condenseur à eau et le tour de refroidissement. Il représente un double avantage d'économiser l'eau de refroidissement et de le conduire à des pressions de condensation plus basses qu'avec le condenseur à air.

### **II.3.3. Le détendeur**

Il a pour fonction d'assurer la détente du fluide frigorigène liquide et de régler son débit. Il sépare également la zone haute pression de la zone basse pression. On a deux principaux types de détendeur:

#### **II.3.3.1. Le détendeur capillaire**

Il est composé d'un tube très fin dont la longueur varie selon la perte de charge du fluide frigorigène qui le traverse. Pour ce type de détendeur le débit du fluide frigorigène arrivant dans l'évaporateur est fonction du diamètre intérieur (de 0.6 à 1.5 mm) et de la longueur (de 1.80 à 3.50 m) du tube.

#### **II.3.3.2. Le détendeur thermostatique**

Il régule la Surchauffe de la vapeur à la sortie de l'évaporateur (la maintenir constante) en fonction des apports calorifiques extérieurs.

**NB** : Si la surchauffe est très faible, le compresseur risque d'absorber le liquide. Si elle est trop importante, les performances de l'évaporateur ne correspondent pas à celles attendues.

### **II.3.4. L'évaporateur**

C'est un échangeur de chaleur dans lequel le fluide frigorigène liquide provenant du détendeur (à basse température et basse pression) absorbe la chaleur du milieu à refroidir (à pression constante) et puis se vaporise avant d'être absorbé de nouveau par le compresseur. On distingue :

#### **II.3.4.1. Les évaporateurs refroidisseurs d'air**

Ce sont des échangeurs tubulaires à ailettes au niveau desquelles circule un débit d'air entraîné par des ventilateurs. On distingue : Les évaporateurs à convection naturelle de type Roll Bond, et les évaporateurs à convection forcée. Le débit massique d'air à refroidir peut être défini par l'expression suivante :

$$q_{ma} = \frac{Q_0}{(C_{pa}\Delta\theta)} \quad [\text{Kg d'air sec}] \quad (25)$$

Avec  $Q_0$  : production frigorifique brute [en W]

Et son débit volumique soit égal à:

$$q_{va} = \frac{Q_0}{1.3*\Delta\theta} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (26)$$

**1,3 Kg/m<sup>3</sup>** représente la quantité de chaleur pouvant être absorbée par m<sup>3</sup> d'air.

#### **II.3.4.1. Les évaporateurs refroidisseurs de liquide**

La plupart sont des échangeurs tubulaires à plaques. Mais il existe aussi les évaporateurs à doubles tubes, les évaporateurs du type serpentin ; Et les évaporateurs multitubulaires. Le débit massique de l'eau à refroidir s'exprime comme suit :

$$q_{mw} = \frac{Q_0}{(C_w\Delta\theta)} \quad (\text{Kg/s}) \quad (27)$$

Et son débit volumique serait égal à:

$$q_{vw} = \frac{q_{mw}}{\rho_w} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (28)$$

$\rho_w$  la masse volumique de l'eau en Kg/m<sup>3</sup>.

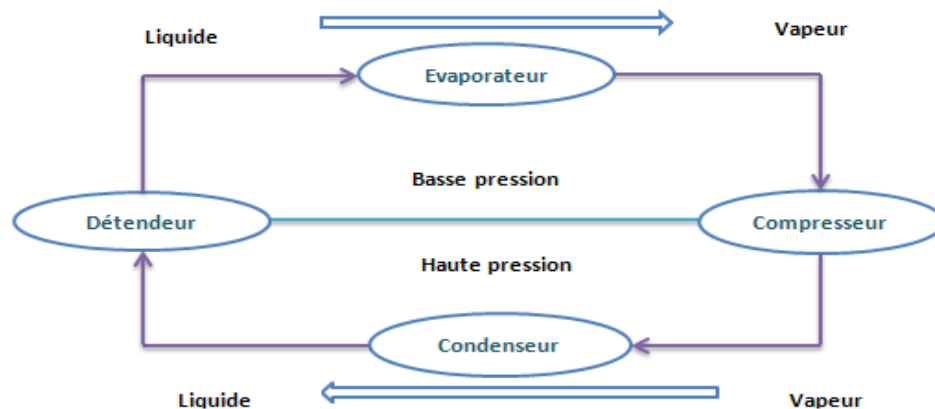
Quand l'évaporateur est efficace, l'installation est efficace. Cette efficacité dépend en particulier de la surface d'échange, de l'écart de température de part et d'autre de l'échangeur et des conditions d'échange de chaleur.

## Chapitre II: Les fluides frigorigènes et huiles frigorifiques

Les fluides frigorigènes ou réfrigérants sont des substances pures ou un mélange de substances pures qui se présentent à l'état liquide ou gazeux ou bien les deux à la fois. Le fluide frigorigène décrit un cycle fermé en quatre phases à travers le circuit composé des quatre organes principaux :

- ✓ **La compression du fluide gazeux** : Qui assure l'élévation de la température et de la pression du fluide frigorigène considéré.
- ✓ **La condensation du fluide gazeux** : L'évacuation de la chaleur contenue dans le fluide frigorigène se fait en trois phases :
  - La désurchauffe de vapeur du fluide frigorigène
  - La condensation de vapeur
  - Le sous refroidissement du fluide frigorigène liquide
- ✓ **La détente du fluide liquide** : la pression du fluide frigorigène réduit avant d'être introduite dans l'évaporateur.
- ✓ **La vaporisation du fluide liquide (la production du froid)** : où l'absorption de chaleur s'effectue en deux étapes :
  - L'évaporation du fluide frigorigène liquide ;
  - La surchauffe des vapeurs issues de l'évaporation du fluide frigorigène liquide.

Le schéma ci-dessous montre le passage du fluide frigorigène à travers un circuit frigorifique.



*Figure 5 : Schéma d'un circuit frigorifique élémentaire*

## **I. Classification des fluides frigorigènes**

Les fluides frigorigènes utilisés dans la production du froid peuvent être classés selon plusieurs façons, par exemple en fonction de leurs impacts sur l'environnement :

### **I.1. Les substances inorganiques pures**

Elles sont en général :

- l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ), codifié par R 718 ;
- l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) codifié par R 717 ;
- le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) codifié par R 744.

Ce sont des fluides frigorigènes naturels, utilisés au début du 20<sup>ème</sup> siècle. Ils n'ont pas d'action sur l'ozone et l'effet de serre, et ils ont des propriétés thermodynamiques intéressantes.

### **I.2. Les hydrocarbures ou composés organiques**

Les plus utilisés dans le domaine du froid sont :

- Le butane (R 600)
- L'isobutane (R 600a)
- Le propane (R 290)
- Le cyclopropane (RC 270)
- Et le propylène (R 1270)

Comme caractère ils sont inflammables, mais on peut les employer quand la quantité de fluide nécessaire dans un circuit est assez faible.

### **I.3. Les hydrocarbures halogénés**

Ils sont actuellement, les plus utilisés même s'ils représentent une très grande difficulté pour des raisons de toxicité environnementale, alors que leurs utilisations sont interdites.

On distingue :

#### **I.3.1. Les chlorofluorocarbures (CFC)**

Ils comportent dans leurs structures, du chlore, du fluor et du carbone. Ils sont nécessaires pour le fonctionnement de toutes installations qui doivent être rechargées en fluide frigorigène.



Exemples: R 11, R 12, etc....

### **I.3.2. Les hydrochlorofluorocarbures (HCFC)**

C'est la seconde génération appelée aussi frigorigènes de transition aux CFC. Ils ne sont pas entièrement halogénés ; Ils sont composés du chlore, du fluor, du carbone ainsi que d'hydrogène.

Exemples : R 22, R 123, R 141b etc....

### **I.3.3. Les hydrofluorocarbures (HFC)**

Ce sont des hydrocarbures halogénés non chlorés. Dans sa structure ils comportent du fluor, du carbone et d'hydrogène. Ils sont actuellement les plus utilisés dans des installations neuves.

Exemples : le R 134a, R 404a, R 407a etc....

### **I.4. Les autres produits**

- Les éthers oxydes dont l'étherdiéthylique
- Les amines aliphatiques qui sont les méthylamines (R 630) et les éthylamines (R 631)
- Les alcools comme le méthanol et l'éthanol
- et il y a enfin les composés trihalogénés c'est-à-dire chloré, fluoré et bromé (HBCFC et BCFC).

## **II. Codification des fluides frigorigènes**

Pour les fluides frigorigènes chlorofluorés la nomenclature se présente en général, par une désignation numérique liée à sa formule chimique ; D'où :

- R, comme réfrigérant précède le numéro formé
- Le chiffre des centaines désigne le nombre d'atomes de carbone moins 1 (pour les méthanes ce chiffre est égale à 0 et ne se marque pas)
- Le chiffre des dizaines désigne le nombre d'atomes d'hydrogène plus 1
- Le chiffre des unités désigne le nombre d'atome de fluor contenu dans la molécule.

**NB** : Dans le cas où la molécule contient du brome, le gaz est appelé halon ; Et pour sa nomenclature, on place la lettre B à la fin de la formule suivie de son nombre d'atomes.

Pour les autres fluides frigorigènes, la valeur après R peut être spécifique :

❖ **Les mélanges zéotropes (série 400) :**

Ces types présentent un glissement de température au cours du changement d'état ; La lettre R est suivie du chiffre 4. Pour cela, les fluides se classent par ordre d'apparition.

Si les mélanges sont identiques, on ajoute une lettre minuscule comme a, b,... à la fin.  
Exemple : le R404a. Par contre, si les mélanges sont des isotopes, on ajoute une lettre majuscule.  
Exemple : le R 407A.

❖ **Les mélanges azéotropes (série 500) :**

La lettre R est suivie du chiffre **5** ; Ils se comportent comme des corps purs dont les numérotations sont chronologiquement par ordre d'enregistrement. Exemple: le R 502

❖ **Les composés organiques (séries 600) :**

Ce sont des composés organiques autres que les hydrocarbures halogénés, par exemple le butane (R 600). La lettre R est suivie du chiffre **6**. Ils sont hautement inflammables. On les obtient soit par raffinage du pétrole, soit par dégazolinage du gaz naturel.

❖ **les composés inorganiques (séries 700):**

Pour cela on ajoute au chiffre **7** la masse molaire du composé. Exemple l'ammoniac qui a pour formule  $\text{NH}_3$ . Sa codification est R717.

Pour codifier les fluides frigorigènes, on peut utiliser aussi la règle du « 90 » on prend comme exemple le R 12 :

On ajoute 90 au nombre 12 et on obtient 102 où:

- 1 qui est le premier chiffre, désigne le nombre d'atome de carbone
- 0 le second chiffre, désigne le nombre d'atome d'hydrogène, alors ici il n'y a pas d'hydrogène
- Et 2 le dernier chiffre, désigne le nombre d'atome de fluor.

**Remarque :** Si le bilan est incomplet on doit compléter la molécule par des atomes de chlore. Par exemple le cas du R 12 qui a pour formule  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ .

### III. Les propriétés des fluides frigorigènes

Chaque classe de fluide frigorigène a ses propriétés, à partir desquelles, on peut identifier les dangers qu'ils viennent d'apporter, et les mesures de prévention qu'on doit prendre lors de son utilisation. Voici quelques tableaux qui nous aident à déterminer les principaux fluides frigorigènes ainsi que leurs propriétés et leurs domaines d'application.

**NB :** les propriétés des fluides frigorigènes introduits dans les tableaux ci-après appartiennent à tous les fluides de la classe considérée.

Nom	Formule	Désignation	Propriétés	Domaines d'application
Trichlorofluoro-méthane	$\text{CCl}_3\text{F}$	R 11	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non inflammables</li> <li>- Non toxiques</li> <li>- Incolores et inodores</li> <li>- ODP très élevé</li> <li>- GWP très élevé</li> <li>- Chimiquement stables</li> </ul>	Installation de conditionnement d'air
dichlorodifluoro-méthane	$\text{CCl}_2\text{F}_2$	R 12		Froid domestique, froid commercial, froid industriel, transport, conditionnement d'air et climatisation automobile
Mélange de R22 et R115	-	R 502		Froid commercial à basse température

**Tableau 2 : Propriété des CFC**

Pour le mélange R502, le R22 a pour formule  $\text{CHClF}_2$  sous le nom de chlorodifluorométhane et celui du R115 est  $\text{CClF}_2\text{-CF}_3$  on l'appelle le chloropentafluoroéthane.

Nom	Formule	Désignation	Propriétés	Domaine d'application
chlorodifluorométhane	CHClF <sub>2</sub>	R 22	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non inflammables</li> <li>- Non toxiques</li> <li>- Incolores et inodores</li> <li>- ODP moins élevé que celui des CFC</li> <li>- GWP moins élevé que celui des CFC</li> </ul>	Froid commercial, froid industriel, transport, conditionnement d'air

**Tableau 3 : Propriété des HCFC**

Le R 22 est choisi comme exemple de HCFC, car il est le plus utilisé dans le domaine de froid.

Les deux tableaux (2) et (3) résument les propriétés des fluides frigorigènes chlorés et maintenant on va voir les propriétés des fluides non chlorés dans les tableaux suivants :

Nom	Formule	Désignation	Propriétés	Domaines d'application
1.1.1.2-tetrafluoroéthane	CH <sub>2</sub> F- CF <sub>3</sub>	R 134a	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non toxiques pour la plupart</li> <li>- Incolores et pratiquement inodores</li> <li>- ODP nul</li> <li>- GWP moins élevé que celui des CFC</li> </ul>	Froid domestique, froid commercial, froid industriel, conditionnement d'air, transport et climatisation automobile
R 32 + R 125 + R134a	—	R 407C		Conditionnement d'air
R 125 + R 143a + R 134a	—	R 404A		Froid commercial, froid industriel et transport
R 32 + R 125	—	R 410A		Conditionnement d'air
R 125 + R 143a	—	R 507		Froid commercial et froid industriel

**Tableau 4 : Propriété des HCF**

Le R 32 a pour formule CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (du difluorométhane) et le formule du R 125 est le CHF<sub>2</sub>-CF<sub>3</sub>(le pentafluoroéthane). Le R 32 et le R 143a sont des gaz inflammables.

Nom	Formule	Désignation	Propriétés	Domaines d'application
L'ammoniac	NH <sub>3</sub>	R 717	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inflammable</li> <li>- Toxique</li> <li>- Bonnes propriétés thermodynamiques</li> <li>- ODP et GWP nul</li> </ul>	Froid industriel
Dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	R 744	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pressions de fonctionnement élevées</li> <li>- Coefficient de performance faible</li> <li>- ODP nul et GWP négligeable</li> </ul>	Chambre froide et pompe à chaleur

*Tableau 5 : Propriété des fluides naturels*

Le coût de l'ammoniac et du dioxyde de carbone est peu élevé. Dans le domaine du froid actuel, le CO<sub>2</sub> est peu utilisé tandis que l'ammoniac est utilisé dans la plupart des installations

#### **IV. Les huiles frigorifiques**

Dans les installations frigorifiques, les huiles frigorifiques tiennent des rôles importants pour le fonctionnement des compresseurs frigorifiques. Elles assurent la lubrification des pièces en mouvement, pour une bonne performance et la longévité de l'installation. Elles permettent également d'assurer l'évacuation de la chaleur.

On distingue différents types d'huiles pour la bonne lubrification du compresseur au niveau des machines frigorifiques. Ces huiles doivent être compatibles aux fluides frigorigènes utilisés dans l'installation; parmi lesquelles :

- **Les huiles minérales** : Utilisées pour les fluides frigorigènes chlorés et les hydrocarbures, elles possèdent une excellente fluidité à basse température. Elles sont obtenues par la distillation du pétrole brute.
- **Les huiles semi-synthétiques** comme les alkylbenzènes qui ont de très bonnes stabilités thermiques et sont solubles dans le fluide. Elles sont utilisées pour les installations à fluide frigorigène R 22 et pour les autres fluides de transfert.
- **Les huiles synthétiques** dont les plus connues sont les polyalkilèneglycols (PAG) utilisées dans la climatisation automobile avec le R 134a. Elles sont capables d'absorber de l'eau et de protéger le compresseur contre l'usure, elles sont aussi thermiquement

stables et possèdent une bonne thermoviscosité, elles sont également solubles dans le fluide.

- **Et les polyolesters (POE)** qui sont également des lubrifiants synthétiques ayant la même propriété que les PAG ; Mais ne sont pas stables à la décomposition et à la haute teneur en eau. Elles sont chimiquement plus stables que les PAG, ce sont les huiles nécessaires pour toutes les installations frigorifiques qui utilisent les HFC comme réfrigérant, ainsi que les conditionnements d'air, sauf la climatisation des véhicules qui emploie les PAG.

### **Chapitre III: Protection de l'environnement**

L'utilisation des substances chimiques tels les fluides frigorigènes, indispensables pour le fonctionnement des systèmes frigorifiques, ont généralement des impacts néfastes pour l'environnement. C'est ainsi que des accords internationaux réduisant et interdisant leur production et leur consommation sont mises en place pour pouvoir protéger l'environnement.

#### **I. Les impacts environnementaux**

Les scientifiques ont découvert que l'environnement est exposé à des grandes menaces à cause de l'utilisation de certaines substances chimiques fabriquées par l'homme :

##### **I.1. L'appauvrissement de la couche d'Ozone**

La destruction de la couche d'Ozone stratosphérique, essentielle à la vie sur la terre est due à l'émission dans l'atmosphère des substances chimiques qui appauvrissent la couche Ozone (SAO). Ces substances sont essentiellement les hydrocarbures chlorés en particulier, les chlorofluorocarbures (CFC) et les hydrochlorofluorocarbures (HCFC), même si ces fluides frigorigènes possèdent des excellentes propriétés physiques, la présence des chlores dans leur structure est le principal facteur de la perturbation.

A part les substances chimiques chlorées, les produits chimiques contenant du Brome dans leur molécule sont également dommageables pour la couche d'ozone. Parmi ces substances dangereuses pour la couche d'Ozone stratosphérique figurent les Bromures de Méthyle ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ) et les Extincteurs à base de Brome.

Le rôle de la couche d'ozone est de protéger notre organisme, et notre environnement contre certains rayons solaires (les ultraviolets type B). La couche d'Ozone filtre les radiations provenant de ces rayonnements. En effet, sa destruction entraîne une émission massive de la radiation des rayons UV B sur la surface de la terre. Et cette radiation contribue entre autre à la stérilisation des végétaux et provoque le cancer de la peau et les cataractes pour l'homme, elle entraîne aussi une réduction du système immunitaire.

Puisque l'Ozone est formé de trois atomes d'oxygène, quand une fuite de fluide frigorigène aura lieu, l'atome du chlore de ces fluides qui vient d'être libéré peut enlever facilement un atome d'oxygène de l'Ozone, il y a alors présence d'une réaction chimique; Cette même chlore

peut arracher plusieurs atomes d'oxygène de l'Ozone (il peut effectuer de 100 à 10000 réactions).

Exemple lors d'une fuite de R22 :

Voici la réaction qui pourrait être produite après:



Pour pouvoir éviter la destruction de la couche d'Ozone, la Convention de Vienne pour la protection de la couche d'Ozone et le Protocole de Montréal relatif aux SAO ont été adoptés en 1987, accompagné plus tard de quelques amendements.

(Le phénomène de la destruction de la couche d'Ozone est présenté par un schéma à l'annexe II).

### **I.2. Le réchauffement de la planète**

A part la destruction de la couche d'Ozone, les gaz comme CFC, les HCFC, ainsi que les HFC (fluides de remplacements qui sont neutres vis-à-vis de la couche d'ozone) contribuent à l'effet de serre ; Responsable du bouleversement climatique, ayant de lourdes conséquences pour le milieu naturel. Exemple : La fonte des glaces polaires et la désertification. Il perturbe aussi les chaînes alimentaires et a des effets sur l'agriculture, les pêcheries et la diversité biologique. En plus, c'est l'augmentation des gaz à effet de serre qui provoque le réchauffement de la planète.

En outre, les fluides naturels tels l'ammoniac quoique non dangereuse pour la couche d'Ozone, ont aussi un impact négatif pour l'environnement. En effet, ils augmentent le taux d'acidification de notre environnement naturel proche, détruisant entre autres la faune et la flore.

C'est ainsi que la Convention Cadre des Nations Unies pour le Changement Climatique (CCNUCC) et le Protocole de Kyoto ont été adoptés par la communauté internationale.

## **II. Les accords internationaux sur l'utilisation des fluides frigorigènes**

En vue de la protection de l'environnement, les émissions des fluides frigorigènes dans l'atmosphère ont été à éviter. Pour cela, différents traités internationaux ont régi l'utilisation de ces fluides frigorigènes:



- Le Protocole de Montréal pour la lutte contre l'appauvrissement de la couche d'Ozone et,
- Le Protocole de Kyoto pour le Mécanisme du Développement Propre (MDP), en vue de lutter contre le réchauffement de la planète.

Mais dans les années 70 avant ces traités, la question sur l'appauvrissement de la couche d'ozone s'est déjà posée au niveau du conseil d'administration du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE).

En 1977, le PNUE et l'Organisation Météorologie Mondial (OMM) ont mis en place le comité de coordination pour la protection de la couche d'ozone. En 1981, l'idée d'élaboration d'une convention internationale sur la couche d'ozone est née en vue de négociation de chaque gouvernement, dans le but d'éliminer les facteurs de l'appauvrissement de l'Ozone. Même si la négociation était encore très difficile à cause de l'ignorance des risques environnementaux associés à l'appauvrissement de la couche d'Ozone, la Convention de Vienne a été présentée cette année même à la communauté internationale.

Mais à force de persévérance, les pays sont parvenus à s'entendre et à signer cette Convention pour la protection de la couche d'Ozone en mars 1985. Le Canada a été le premier pays à ratifier ce traité. La Convention de Vienne est déclaré officiellement en 1988, son principe est basé sur la protection de la couche d'Ozone.

Comme les pays ne pouvaient pas s'entendre sur les mesures de réglementation, la Convention de Vienne est devenue un traité-cadre pour l'élaboration des mesures de contrôle.

### **II.1. Le Protocole de Montréal relatifs aux SAO**

Après la découverte du trou d'Ozone au dessus de l'antarctique par le docteur Joe Farman à la fin de 1985 ; L'environnement connaît beaucoup d'angoisse. Et c'est ainsi que le premier accord environnemental international « le Protocole de Montréal » relatif aux Substances qui Appauvrissent la couche d'Ozone (SAO) a été signé par 24 pays et la Communauté Economique Européenne (CEE) le 16 septembre 1987 dont le but de réduire la consommation et la production des CFC de 50 % dans environ 10 ans. Mais quelques années plus tard, c'était en janvier 1989 que le Protocole est entré en vigueur sous l'accord de 175 pays. Cette fois-ci l'objectif est de réduire et à terme de supprimer totalement les SAO mais non seulement les CFC.

En 2009, la ratification universelle a été atteinte, car 196 pays membres des Nations Unies ont tous ratifié ces deux traités sur la protection de la couche d'Ozone. Ce sont les premiers traités internationaux sur l'environnement ayant obtenu la ratification universelle.

En effet, le Protocole de Montréal engage les parties d'arrêter progressivement la consommation et la production d'un ensemble de ces substances chimiques. Pour cela, il s'articule autour de huit éléments clés :

- L'exigence de l'élimination de la production et de l'importation des SAO pour toutes les parties.
- Les pays en développement possèdent de 10 à 15 ans pour effectuer l'élimination complète de ces substances.
- La prévoyance de la mise en place d'un fond multilatéral c'est-à-dire un mécanisme financier pour aider les pays en développement à l'élimination progressive des SAO.
- • L'exigence d'un rapport annuel pour la production, l'importation et l'exportation des SAO par les parties.
- Le programme de la création d'un comité de mise en œuvre pour examiner les rapports sur la production et la consommation des SAO.
- L'interdiction du commerce des SAO vers les pays non membres du protocole.
- La planification des évaluations régulières pour permettre aux pays membres de prendre des décisions fondées sur des nouvelles informations en matière de connaissances scientifiques, d'effet environnementaux, de technologie et d'économie.
- L'inclusion d'une disposition relative aux modifications permettant d'accélérer l'élimination progressive des SAO, et d'une disposition de modification facilitant l'insertion de nouveaux produits chimiques.

En plus, des calendriers d'élimination et de réduction ont été abordés et ces calendriers sont différents pour les pays développés et les pays en développement.

Pour les pays développés le calendrier d'élimination progressive est représenté par le tableau ci-après [retiré de l'ouvrage n°3]:

substances	Objectif du protocole de Montréal
Halons	Elimination complète depuis le 1 <sup>er</sup> janvier 1994
CFC, HBFC, méthyle chloroforme, tétrachlorure de carbone	Elimination complète depuis le 1 <sup>er</sup> janvier 1996
HCFC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gel de la consommation depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1996</li> <li>- Gel de la production à partir de 2004</li> <li>- Elimination complète à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2030</li> <li>- A partir du 1<sup>er</sup> janvier 2004, les parties interdisent l'importation de HCFC</li> </ul>
Bromure de méthyle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arrêter à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1995</li> <li>- Elimination complète depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2005</li> </ul>
Bromochlorométhane	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interdiction de la production et de la consommation est comptée du 1<sup>er</sup> janvier 2002</li> <li>- A partir du 1<sup>er</sup> janvier 2001, les commerces de Bromochlorométhane avec les Etats non parties au protocole sont interdits</li> </ul>

**Tableau 6 : Calendrier d'élimination de certaines SAO pour les pays développés**

Par contre, pour les pays en développement l'élimination doit être réalisée dans 10 à 15 ans, selon l'article 5 du protocole, la production et la consommation des CFC doivent prendre fin à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2010 et pour les HCFC ce sera à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2040, au début, mais cette date a été ramenée à 2030.

En outre, le Protocole de Montréal dispose plusieurs amendements :

- ❖ L'amendement de Londres a été accepté par la communauté internationale le 5 juillet 1990 et il est entré en vigueur le 10 août 1992, sous 186 ratifications. Cet amendement ajoute de nouvelles substances.
- ❖ Le 22 novembre 1992, l'amendement de Copenhague a été signé et ratifié le 16 mars 1994 par 179 pays ; il accélère l'élimination de plusieurs SAO
- ❖ Le 25 septembre 1995, l'amendement de Montréal a été accordé par la communauté internationale, et puis ratifié le 27 mars 1998 par 179 pays, il est entré en vigueur le 10 novembre 1999. Cet amendement bannit l'importation ou

l'exportation de certaines substances et établit un système mondial de licences pour contrôler le commerce international des SAO.

- ❖ L'amendement de Beijing a été signé par 135 Nations le 9 février 2001 et entré en vigueur le 25 février 2002 ; Il concerne deux substances : Le Bromochlorométhane et le bromure de méthyle.

Ce Protocole est alors très complexe et va durer longtemps à travers une stratégie générale. Mais la couche d'Ozone pourra retrouver son état initial dans les années à venir (entre 2055 et 2065) ; Car 20 ans après la signature du Protocole de Montréal, l'arrêt de la production des CFC prévu en 2010 est réalisé. Or la tâche n'est pas encore achevée, il était prévu que l'élimination des HCFC, des substituts de CFC sera à partir de 2020 pour les pays industrialisés et 2030 pour les pays en développement. Les pays à faible consommation en SAO ont réalisé des stratégies concernant leurs secteurs de réfrigération et climatisation ; Ces stratégies sont contenues dans les plans nationaux appelés « Plan de Gestion de Réfrigérants ou en abrégé PGR».

## **II.2. Le Protocole de Kyoto**

Le Protocole de Kyoto est un accord international visant à la réduction des émissions des gaz à effet de serre, il est issu de la Convention-Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) adoptée à l'issue du sommet de la terre à Rio de Janeiro en Brésil en juin 1992 et partage le même objectif que cette convention.

La CCNUCC a pour but de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toutes perturbations anthropiques dangereuses du système climatique.

Le Protocole de Kyoto est adopté le 11 décembre 1997 lors du 3<sup>em</sup> conférence annuelle de la CCNUCC, il engage les pays industrialisés à réduire leurs émissions des GES d'au moins de 5% sur la période 2008-2012 par rapport aux niveaux de 1990. Parmi eux, les Etats Unis ont accepté une réduction de moins de 7%, pour le Japon et le Canada moins de 6%, pour l'Union Européenne moins de 8% et la Chine, deuxième pollueur du monde, obtient une exemption.

Ce Protocole est entré en vigueur le 16 décembre 2005, sous la ratification de 55 pays, même s'il a traversé plusieurs difficultés sur la négociation; Néanmoins, les Etats Unis les seuls à émettre 30 à 35% du total des GES, ont refusé. Par contre, l'Union Européenne a ratifié le

protocole le 31 mai 2002, le Japon en mois de juin de cette même année; et enfin la Russie le 22 octobre 2004.

Les six principaux gaz à effet de serre concernés par ce Protocole sont :

- ✚ Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) : Provenant de la combustion des énergies fossiles et la déforestation.
- ✚ Le méthane (CH<sub>4</sub>) : Qui a pour origine principale l'élevage ruminant, la culture de riz, les décharges d'ordure ménagère, les exploitations pétrolières et gazières.
- ✚ Les Hydrofluorocarbures (HFC) et les hydrocarbures perfluorés (PFC) : Les réfrigérants utilisés dans les systèmes de climatisation et la production du froid.
- ✚ L'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) : Provient de l'utilisation des engrais azotés et certains procédés chimiques.
- ✚ L'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>) : Utilisé dans les transformateurs électriques par exemple.

Après avoir vu les accords internationaux réglementant, entre autres, l'utilisation des fluides frigorigènes dans le cadre de la protection de la couche d'Ozone. Il y a lieu maintenant de porter un regard particulier sur l'utilisation de ces réfrigérants au niveau national.

### III. **Programme National pour la protection de la couche d'Ozone** [retiré de l'ouvrage n°3]

L'engagement des pays en développement pour la protection de la couche d'Ozone est inclus dans l'article 5 du Protocole de Montréal ; Madagascar fait partie de ces pays, dont l'élimination totale des SAO est prévue à partir de 2010 (pour les CFCs) et à partir de 2030 (pour les HCFCs). Mais avant ces dates, ces SAO seront éliminées d'une manière progressive.

Madagascar qui est un pays non producteur mais consommateur des SAO (voir annexe III), a décidé de s'associer aux différents traités internationaux pour la protection de la couche d'Ozone. Notre pays a ratifié:

- Le 7 novembre 1996, la Convention de Vienne (1985), le Protocole de Montréal (1987),

- Les différents amendements (Londres, Copenhague, Montréal, et Beijing) le 16 janvier 2002,
- ainsi que la CCNUCC le 02 décembre 1998,
- Et le Protocole de Kyoto le 03 septembre 2003.

Les objectifs généraux sont respectivement de protéger la santé humaine et l'environnement contre les effets de la perturbation de la couche d'ozone et les effets du changement climatique.

A Madagascar, en ce qui concerne les HCFCs, ce sont les R 22 qui sont les plus employés dans la plupart des installations frigorifiques, en particulier dans la climatisation et l'industrie de la pêche ; Mais si quelques secteurs utilisent d'autres substances c'était à faible quantité.

Pour pouvoir respecter les engagements énoncés dans le Protocole de Montréal, Madagascar a commencé dès le 1<sup>er</sup> janvier 2008 l'élimination progressive et l'interdiction de l'importation des CFC ; Et le 1<sup>er</sup> janvier 2009 celui des HCFC. Ainsi le Gouvernement Malagasy a chargé le Bureau National Ozone de l'élaboration de certains projets ayant trait à la protection de la couche d'Ozone:

- Le Plan sur la Gestion des Réfrigérants (PGR),
- Le Plan sur la Gestion des Réfrigérants Actualisés (PGR A),
- Le Plan de la Gestion de l'Elimination Finale (PGEF) des CFCs,
- Le projet d'appui institutionnel et le projet sur le bromure de méthyle; Qui préconise la formation des techniciens frigoristes sur les bonnes pratiques en réfrigération pendant le processus de réparation des équipements et la formation sur le système de récupération des gaz nocifs à la couche d'Ozone,
- Le raffinement des cadres juridiques en matière de protection de la couche d'Ozone,
- La participation dans le Programme National sur la Gestion intégrée et rationnelle des produits chimiques,
- L'évaluation annuelle de la consommation en SAO et non SAO ;
- Ainsi que l'adoption de la stratégie nationale de gestion du risque de réutilisation du bromure de méthyle.

Pour accomplir tous ces programmes, le pays a pu obtenir des aides financières provenant du PNUE, FFEM, AFD. Cependant, il a encore rencontré des problèmes à cause de l'existence du commerce et trafic illicite, de l'insuffisance de matériels, et de la difficulté de la mise en œuvre du décret 2003/170 du 4 mars 2003 portant la réglementation de l'importation et de la consommation des produits de transition ; Ce qui implique une augmentation de la consommation des substances de transition comme le R 22.

Ces différents plans contenus dans le programme Ozone de pays se rapportent principalement aux objectifs :

- De former de nouveau les techniciens frigoristes en bonne pratique dans la réfrigération ;
- De reconverter les équipements frigorifiques ;
- De former également les agents des douanes sur le contrôle de l'importation de ces réfrigérants ;
- D'adopter un programme d'assistance pour la révision du décret des SAO ; et un programme d'assistance technique pour la reconversion des équipements frigorifiques ;
- D'adopter des réseaux de récupération et de recyclage des substances réglementées ;
- Et enfin, d'évaluer périodiquement la consommation en SAO et non SAO.

Pour la mise en œuvre de ces programmes Ozone, le pays a réalisé différentes actions généralisant les objectifs de ces programmes :

- ❖ L'application le décret n° 2003/170 du 04 mars 2003 portant la réglementation de l'importation et de l'utilisation des SAO.
- ❖ L'établissement d'une campagne annuelle de communication, d'information et de médiatisation exécutée ; Comme la célébration de la journée mondiale pour la protection de la couche d'Ozone, chaque 16 septembre.
- ❖ Les enquêtes périodiques sur l'utilisation et la consommation des SAO.
- ❖ L'établissement des rapports périodiques des activités du BNO.
- ❖ La formation des formateurs des techniciens frigoristes selon le PGR (30 formateurs)

- ❖ La formation des douaniers et le personnel responsable de l'importation des substances réglementées (il y a 49 formés).
- ❖ La formation des techniciens frigoristes aux bonnes pratiques de la réfrigération (200 formés).
- ❖ L'acquisition des matériels de formation, matériels de recyclage et récupération, ainsi des identificateurs de SAO.
- ❖ La mise en place des réseaux de recyclage et de récupération des SAO à Antananarivo, Tuléar, et Antsiranana.



*PARTIE II :*  
*MANIPULATION DES*  
*FLUIDES*  
*FRIGORIGENES*

---

## **Chapitre I : Etude de calcul de la quantité de charge en fluide frigorigène**

### **d'une installation**

La bonne performance technique ainsi que l'efficacité d'une machine frigorifique dépend en partie de la charge en fluide frigorigène.

Considérons une chambre froide positive à 0°C pour la conservation des viandes sur pendoir, dont les dimensions intérieures sont les suivantes [copier de l'ouvrage n°7]:

- ❖ Largeur  $l = 2$  m
- ❖ Profondeur  $p = 3$  m
- ❖ Hauteur  $h = 3.5$  m
- ❖ Volume  $v = 21$  m<sup>3</sup>

Les murs et plafonds de cette chambre froide sont constitués de paroi type sandwich composée d'une âme en mousse rigide de polyuréthane d'épaisseur  $e = 100$  [mm].

Le sol est constitué de prédalle en béton sur terre-plein, d'une barrière d'étanchéité, d'une couche de mousse rigide de polyuréthane, d'une dalle de compression, d'une chape et d'un pavage selon les proportions suivantes :

composants	e [mm]
Prédalle en béton sur terre-plein	150
Barrière d'étanchéité	15
Mousse rigide de polyuréthane	100
Dalle de compression	100
Chape	50
Pavage	15

*Tableau 7 : Epaisseur de chaque composant constituant le sol*

En ce qui concerne les portes, on a des portes composées d'une âme en mousse rigide de polyuréthane et de 2 faces métalliques telles que :

- ❖  $e = 0.1$  [m]

- ❖  $l_p = 1.2$  [m]
- ❖  $h_p = 2$  [m]

Le fluide frigorigène utilisé est le R404A.

## I. Bilan frigorifique de la chambre froide

Avant de calculer la masse de fluide à introduire dans le circuit frigorifique de cette chambre froide, il est nécessaire de faire son bilan frigorifique afin de trouver la puissance frigorifique de cette chambre. Notons que pour une installation ayant une puissance frigorifique de 1 [KW], la masse de fluide à introduire devra être comprise entre 3.5 [Kg] et 5.5 [Kg] (ce que nous prendrons comme référence).

### I.1. Détermination du coefficient global d'échange thermique K

Le coefficient global d'échange thermique K est déterminé à partir de la formule suivant :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_e}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (29)$$

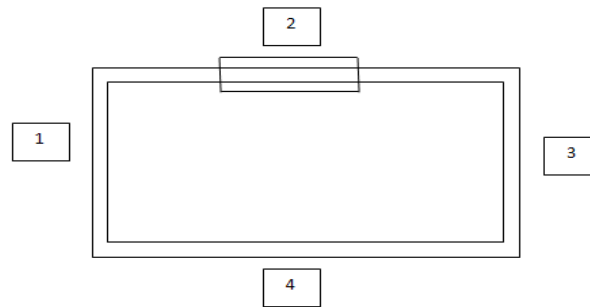
Pour les murs et plafonds, seule la couche d'isolant en mousse rigide de polyuréthane sera tenue compte dans les calculs ; car les autres couches sont considérées comme étant toujours thermiquement négligeables. Et Pour une mousse rigide de polyuréthane de masse volumique 40 [kg/m<sup>3</sup>] on a :  $\lambda = 0,02$  [W/m.K]

Les valeurs de résistances thermiques superficielles des parois d'une chambre froide sont incluses dans le tableau ci-après :

Côté externe de la paroi	$1/h_e$ [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]	Côté interne de la paroi	$1/h_i$ [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]
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 8 : Résistances thermiques superficielles des parois d'une chambre froide**

On peut numéroter les parois de cette chambre froide comme suit:



**Figure 6 : Numérotation de la chambre froide**

En posant que toutes les parois de la chambre froide sont en contact avec un autre local, et la chambre froide est en ventilation mécanique. On a alors :  $1/h_e = 0.12$  et  $1/h_i = 0.06$

$$\text{AN : } K = \frac{1}{0,06 + \frac{0,1}{0,02} + 0,12} = 0.1931$$

Ainsi, pour toutes les parois et les plafonds on obtient  $K = 0.1931 \text{ [W/m}^2\text{.K]}$

Pour le sol, la conductivité thermique des différentes couches est représentée dans le tableau suivant :

Couche	$\lambda \text{ [W. m}^{-1}\text{. K}^{-1}\text{]}$
prédalle en béton sur terre-plein	1.279
barrière d'étanchéité	0.160
mousse rigide de polyuréthane	0.030
dalle de compression	1.279
chape	1.924
pavage	1.050

**Tableau 9 : Conductivité thermique  $\lambda$  des différentes couches constituant le sol de la chambre froide**

Et on obtient alors  $\sum \frac{e_n}{\lambda_n} = 3.6628$

Et  $1/h_e = 0$  car le sol est en terre plein

D'où:  $K = 0.2686 \text{ [W/m}^2\text{.K]}$

Et pour le reste de calcul on a :  $k = 0.19 \text{ [W. m}^{-2}. \text{K}^{-1}]$

## **I.2. Calcul des charges thermiques externes**

### **I.2.1. Charges thermiques par transmission à travers les parois**

La charge thermique par transmission à travers chaque paroi est donnée par la formule :

$$Q_i = K.S.\Delta\theta \quad [\text{W}] \quad (30)$$

D'où les résultats indiqués dans le tableau suivant :

Parois	S (m <sup>2</sup> )	T <sub>ext</sub> (°C)	T <sub>amb</sub> (°C)	$\Delta\theta$	Q <sub>i</sub> (W)
1	7	-20	0	-20	-26.6
2	10.5	25	0	25	49.875
3	7	0	0	0	0
4	10.5	25	0	25	49.875
Plafond	6	33.7	0	33.7	38.418
Sol	6	33.7	0	33.7	38.418

***Tableau 10 : Résultats des charges thermiques par transmission des parois***

Ainsi, pour une chambre froide la charge thermique à travers les parois est:

$$Q_{tr} = \sum Q_i \quad [\text{W}]$$

Après le calcul on trouve :

$$Q_{tr} = 149.986 \text{ (W)}$$

### **I.2.2. Charges thermiques dues au renouvellement d'air**

Une certaine quantité d'air neuf est quotidiennement admise dans la chambre froide.

Le refroidissement de celui-ci à la température ambiante de la chambre froide constitue une charge thermique déterminée par la formule :

$$Q_{re} = m_{ae}.\Delta H \quad [\text{KW}] \quad (31)$$

Avec :

$$m_{ae} = \frac{V_{ae} * \rho_{aa}}{86400} \quad \text{En [kg. s}^{-1}\text{]} \quad (32)$$

$$V_{ae} = V * n = V * \frac{70}{\sqrt{V}} \quad [\text{m}^3] \quad (33)$$

$$\rho_{aa} = \frac{\rho_0}{1 + \frac{T_{amb}}{273.5}} \quad [\text{kg.m}^3] \quad (34)$$

$$\Delta H = H_{ae} - H_{aa} \quad [\text{kJ.kg}^{-1}]$$

Où  $V_{ae}$ : Le débit d'air extérieur

$n$  : Le taux de renouvellement d'air

$\rho_{aa}$  : La masse volumique d'air dans la chambre froide

$\Delta H$ : la différence d'enthalpie entre l'air extérieur et l'air intérieur de la chambre froide.

**NB** : Pour tout le calcul, on suppose  $\rho_0 = 1,293 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$

Et on obtient les résultats suivants:

- $T_{amb} = 0 \text{ (}^\circ\text{C)}$
- $T_{ext} = 25 \text{ (}^\circ\text{C)}$
- $HR_{int} = 90\%$
- $HR_{ext} = 78\%$
- $H_{ae} = 64,5 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$
- $H_{aa} = 9 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$
- $\Delta H = 55.5 \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$
- $\rho_{aa} = 1.293 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
- $V_{ae} = 320.78 \text{ [m}^3\text{]}$
- $m_{ae} = 0.0048 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$
- $Q_{re} = 266.4 \text{ (W)}$

on a alors  $Q_{re} = 266.4 \text{ [W]}$

### **I.2.3. Charges thermiques par ouverture des portes**

La charge thermique par ouverture des portes est obtenue par la formule:

$$Q_{po} = [8 + 0.067 * \Delta\theta] * \tau_p * \rho_{aa} * l_p * h_p * \sqrt{h_p * (1 - \frac{h_{ae}}{h_{aa}})} * (h_{ae} - h_{aa}) * C_{ra} \quad [\text{W}] \quad (35)$$

Avec :  $\tau_p = \frac{d_t * f_j}{24} \quad [\text{min. h}^{-1}] \quad \text{et}$

$$\rho_{ae} = \frac{\rho_0}{1 - \frac{T_{ext}}{273.15}} \quad [\text{Kg. m}^{-3}]$$

On trouve,  $\rho_{ae} = 1.184 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$

Le tableau ci-après représente la durée de transit des marchandises selon le type de porte

Types de porte	Marchandises	dt [min.t <sup>-1</sup> ]
Ouverture manuelle	• Viande animale sur pendoir	15
	• Marchandises palettisées	6
Ouverture automatique commandée	• Viande animale sur pendoir	1
	• Marchandises palettisées	0.8

**Tableau 11: Durée de transit des différents types de marchandises**

Pour cette chambre  $f_j$  est considérée à 10 % de la contenance  $c$  ; où :

$$c = L \cdot l \cdot h_g \cdot d_e \cdot \eta_o \quad [t] \quad (36)$$

Avec  $h_g = 2.5 \text{ [m]}$

Et la densité d'entreposage  $d_e = 350 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$  .

Le coefficient d'occupation du sol  $\eta_o$  en fonction du type d'entreposage est donné par le tableau suivant :

Marchandises réfrigérées palettisées à faible rotation	0.65...0.70
Marchandises réfrigérées palettisées à rotation rapide	0.45...0.50
Marchandises congelées palettisées à faible rotation	0.75...0.80
Marchandises congelées palettisées à rotation rapide	0.50...0.60

**Tableau 12 : Coefficient d'occupation du sol  $\eta_o$  en fonction du type d'entreposage**

D'où les résultats suivants :

$$d_e = 350 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\eta_o = 0.50$$

$$c = 2.625 \text{ [t]}$$

$$f_j = 0.2625 \text{ [t]}$$

$$dt = 15 \text{ [min.t}^{-1}\text{]}$$

$$\tau_p = 0.1641 \text{ [min. h}^{-1}\text{]}$$

$$\rho_{a,e} = 1.184 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$$

Les portes ne présentent pas de rideau d'air, donc on a  $C_{ra} = 1$ . Et on obtient la valeur de  $Q_{po} = 112.277 \text{ [W]}$

### **I.3. Calcul des charges thermiques internes**

#### **I.3.1. Charges thermiques dues à l'éclairage**

La charge thermique due à l'éclairage peut être calculée à partir de la formule :

$$Q_e = n \cdot S \quad [\text{W}] \quad (37)$$

$n$  : nombre de lampe ( $n = 6$ ) et  $S$  : surface de la chambre froide

On a donc pour notre cas  $Q_e = 36 \text{ [W]}$

#### **I.3.2. Charges thermiques dues aux personnes**

Chaque personne entrant dans la chambre froide constitue une charge thermique qui est donnée par la formule :

$$Q_{pe} = \frac{i \cdot q_p \cdot \tau}{24} \quad [\text{W}] \quad (38)$$

En considérant 2 personnes travaillant 8 h par jour dans cette chambre froide, on a :

$i = 2$  et  $\tau = 8 \text{ [h/j]}$ .

La quantité de chaleur dégagée par personne par unité de temps  $q_p$  en activité dans une chambre froide est donnée par le tableau suivant :

$t \text{ [}^\circ\text{C]}$	$q_p \text{ [W]}$
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390
-25	420

**Tableau 13 : Quantité de chaleur dégagée par personne par unité de temps**

Pour notre cas  $q_p = 270 \text{ [W]}$ , car notre chambre froide a pour température de conservation  $0^\circ\text{C}$ .



$$AN : Q_{pe} = \frac{2 \cdot 8 \cdot 270}{24} = 180$$

Et on obtient :  $Q_{pe} = 180$  [W]

### **I.3.3. Charge thermique dues aux denrées entrantes**

Les produits introduits dans les chambres froides se trouvent à une température supérieure à la température de celle-ci.

On utilisera donc la formule suivante:

$$Q_{de} = \frac{m \cdot C_1 \cdot (t_1 - t_2)}{86400} \quad [KW] \quad (39)$$

On a  $C_1 = 2.90$  [KJ. Kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

D'après calcul on trouve  $Q_{de} = 2202.691$  [KW]

### **I.4. Charge thermique totale**

La charge thermique totale de la chambre froide est obtenue en faisant la somme de toutes les charges thermiques :

$$Q_{tot} = Q_{tr} + Q_{re} + Q_{po} + Q_e + Q_{pe} + Q_{de} \quad (40)$$

On a donc d'après calcul :  $Q_{tot} = 2947.354$  [W]

Pour une durée de fonctionnement de 16h par jour, la puissance frigorifique intermédiaire est donnée par la formule :

$$Q_{o,int} = \frac{Q_{tot} \cdot 24}{16} \quad [W] \quad (41)$$

AN:  $Q_{o,int} = 4421.031$  [W]

D'où la puissance frigorifique est :

$$Q_o = Q_{o,int} \cdot 1.2$$

AN:  $Q_o = 4472.613 \cdot 1.2$

$Q_o = 5.305$  [KW]

### **I.5. Détermination des longueurs des tuyauteries**

Les longueurs des tuyauteries sont données dans le tableau ci-dessous de façon que les longueurs équivalentes soient obtenues en ajoutant les longueurs de singularité aux longueurs géométriques. Les détails concernant les singularités sont donnés à l'ANNEXE IV.

Diamètre	Ø 6[mm]	Ø 8[mm]	Ø12 [mm]	Ø 16[mm]	Ø22 [mm]
$l_g$ [m]	5.50	7.04	17.62	6.72	9.72
$l_{eq}$ [m]	6.10	8.16	23.34	7.92	15.12

**Tableau 14 : Longueur de la tuyauterie**

Or notre tuyauterie d'aspiration possède un diamètre  $d_i = 0.016$  [m], ce qui correspond à une longueur  $l_{eq} = 7.92$  [m].

Et la tuyauterie de refoulement un diamètre  $d_i = 0.006$  [m], on a une longueur  $l_{eq} = 6.10$  [m].

Et enfin, pour la tuyauterie de liquide de diamètre  $d_i = 0.008$  [m], la longueur correspondante est de  $l_{eq} = 8.16$  [m]

### **II. Calcul de la masse de fluide frigorigène à installer**

Le calcul de la masse du fluide frigorigène peut se faire à partir de la formule suivante :

$$m_f = \rho_f * q_{v,asp} \quad [Kg] \quad (42)$$

Avec:

$m_f$ : La masse du fluide en [Kg]

$\rho_f$ : la masse volumique du fluide à chaque température exprimée en [Kg/m<sup>3</sup>] ; Elle déterminée à partir de la table de saturation du fluide R404A (voir ANNEXE V).

Et  $q_{f,asp}$ : débit volumique du fluide à l'aspiration en [m<sup>3</sup>/s]; Il est déduit à partir du logiciel Solkane 6.0.

Notre chambre froide possède comme caractéristiques:

- une température d'évaporation  $T_{evap} = -5^\circ C$
- une température de condensation  $T_{cond} = 40^\circ C$

- une surchauffe égale à 5K
- un sous-refroidissement égale à 5K
- une perte de charge de 0.03

On introduit ces valeurs dans le logiciel Solkane 6.0 ; et on relève le débit volumique à l'aspiration nécessaire pour le calcul, et on a trouvé  $q_{v,asp} = 6.77 \text{ [m}^3/\text{h}] = 0.0019 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Puis on retire le diagramme enthalpique du fluide R404A pour vérifier les paramètres nécessaires (voir ANNEXE VI).

### **II.1. Masse au niveau de l'évaporateur**

D'après le diagramme enthalpique du fluide R404A, on déduit qu'il y a 65% de liquide et 35% de vapeur dans l'évaporateur.

#### **- Pour la partie liquide :**

A  $T = -5^\circ\text{C}$ , on a :  $\rho_f = 1167.1 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$

D'après la relation (42),

AN :  $m_{fl} = 1167.1 * 0.0019 * 65\%$

Et on a trouvé,  $m_{fl} = 1.44 \text{ [Kg]}$

#### **- Pour la partie vapeur :**

A  $T = 0^\circ\text{C}$  (car il y a une surchauffe égale à 5K); on a :

$\rho_f = 29.258 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$

AN:  $m_{fv} = 29.258 * 0.0019 * 35\% = 0.019 \text{ [Kg]}$

La masse de fluide frigorigène dans l'évaporateur est égale alors à :

$$m_{f,évap} = m_{fl} + m_{fv}$$

AN: On trouve  $m_{f,évap} = 1.459 \text{ [Kg]}$

### **II.2. Masse au niveau du compresseur**

Au niveau du compresseur le fluide est à l'état vapeur, alors à  $T = 0^\circ\text{C}$  ; on a :

$\rho_f = 29.258 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$ .

Toujours d'après la relation (42) ; on a :

$$AN : m_{f,comp} = 29.258 * 0.0019$$

$$D'o\grave{u} \text{ la masse du fluide dans le compresseur } m_{f,comp} = 0.056 \text{ [Kg]}$$

### **II.3. Masse au niveau du condenseur**

Au niveau du condenseur le fluide est à l'état liquide alors, à  $T = 40^\circ\text{C}$  ; on a :

$$\rho = 963.5 \text{ [Kg/m}^3\text{]}.$$

$$\text{Selon la relation (42), AN : } m_{f,cond} = 963.5 * 0.0019$$

$$D'o\grave{u} \text{ la masse dans le condenseur } m_{f,cond} = 1.83 \text{ [Kg]}$$

### **II.4. Masse dans la ligne d'aspiration**

La masse du fluide dans les tuyauteries dépend des longueurs de ces tuyauteries, elle peut être déterminée par la formule :

$$m_f = \rho_f * q_{v,asp} * l_{eq} \text{ (43)}$$

Dans la tuyauterie d'aspiration le fluide est à l'état vapeur et la longueur de cette tuyauterie est égale à  $l_{eq} = 7.92 \text{ [m]}$ , alors, à  $T = 0^\circ\text{C}$  ;  $\rho_f = 29.258 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$

Selon la formule précédente (43), on a :

$$AN : m_{f,asp} = 29.258 * 0.0019 * 7.92$$

$$\text{On obtient une masse } m_{f,asp} = 0.44 \text{ [Kg]}$$

### **II.5. Masse dans la ligne de refoulement**

Dans la tuyauterie de refoulement le fluide est toujours à l'état vapeur, et la longueur de la tuyauterie est égale à  $l_{eq} = 6.10 \text{ [m]}$ .

$$\text{Alors, à } T = 50^\circ\text{C} ; \rho_f = 130.221 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

$$D'apr\grave{e}s \text{ la relation (43), AN : } m_{f,ref} = 130.221 * 0.0019 * 6.1$$

$$\text{On trouve alors une masse } m_{f,ref} = 1.5 \text{ [Kg]}$$

## **II.6. Masse dans la ligne de liquide**

Nous avons une longueur de 8.16 [m], et comme son nom l'indique le fluide y contenu est à l'état liquide. A  $T = 35^{\circ}\text{C}$  (à cause du sous refroidissement 5K), on trouve  $\rho_f = 991.4 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$

D'où AN:  $m_{f,liq} = 991.4 * 0.0019 * 8.16$

Alors,  $m_{f,liq} = 15.37 \text{ [Kg]}$

Nous avons donc comme masse totale de fluide frigorigène à introduire dans l'installation :

$$m_{f,tot} = \sum m_{f,i} \quad (44)$$

AN:  $m_{f,tot} = 1.459 + 0.056 + 1.83 + 0.44 + 1.5 + 15.37$

On obtient  $m_{f,tot} = 20.66 \text{ [Kg]}$

**Vérification**: pour une puissance frigorifique égale à 1 [KW]; on a  $3.5 \text{ [Kg]} < m_f < 5.5 \text{ [Kg]}$ . Or pour notre cas, la puissance frigorifique de la chambre froide est égale à 5.305 [KW] ; ce qui veut dire que la masse de fluide à introduite dans cette installation devra être comprise entre 18.57 [Kg] et 29.18 [Kg] ; tant mieux, après notre étude nous avons trouvé une masse de fluide  $m_f = 20.66 \text{ [Kg]}$ .

## **Chapitre II: Mise en service d'une installation**

Après avoir terminé le montage ou une réparation importante sur une installation frigorifique, il convient de procéder à toutes les opérations relatives à sa mise en service telles : L'épreuve d'étanchéité, la recherche des fuites, le tirage au vide, la charge en fluide frigorigène et le soutirage d'huile suivi du complément d'huile.

### **I. Contrôle d'étanchéité**

Le fluide frigorigène est un des éléments essentiels d'un circuit frigorifique, il assure le fonctionnement de l'installation. C'est pourquoi, nous devons passer à un contrôle d'étanchéité, pour assurer la circulation normale du fluide frigorigène dans l'installation.

Le contrôle d'étanchéité est une épreuve qui consiste à mettre en pression l'ensemble du circuit avec un mélange d'azote sec (azote R), complété d'un traceur non liquide et incolore. La pression de référence est la pression de service (une pression minimale de **10 bars** et une pression maximale inférieure à **20.5bars**).

Pour réaliser cette opération, on maintient la pression pendant 24h ; pour cela on relève la température, la pression de départ et la pression d'arrivée. A une température égale, si on rencontre une baisse de pression, c'est qu'il y a présence de fuite.

Pour la mise sous pression d'azote sec, une opération qui sert à vérifier si l'installation pourrait résister aux charges de pression retirant du fonctionnement. On doit respecter la pression de service à l'aide d'un manodétendeur, qui permet de réduire la pression de la bouteille d'azote.

Quand l'installation est sous pression, on doit procéder à des recherches méthodiques de fuites et puis à l'évacuation de gaz.

### **II. Détection de fuites**

Après une épreuve en pression, quand il y a abaissement de pression ; Nous devons passer sans tarder à la recherche des fuites sur les raccords, les brasures, les joints et tous les éléments capables de fuir. Car la fuite de fluide frigorigène dans l'atmosphère entraîne de graves problèmes pour l'environnement et la santé.

#### **II.1. Techniques de détection de fuites**

Différentes techniques peuvent être effectuées pour rechercher les fuites sur une installation :

### **II.1.1. Par la chute de pression**

Cette méthode est utilisée avec un circuit pressurisé à l'azote ; Elle consiste à charger l'installation en un gaz traceur afin d'atteindre la pression maximale de service.

**Exemple** : L'utilisation du **H2LD**, une méthode qui utilise un mélange d'hydrogène et d'azote comme gaz traceur.

Rappelons que dans une installation, la pression varie avec la température ; Alors on doit mesurer la température ainsi que la variation de la pression pendant une durée déterminée ; cette méthode permet de contrôler et définir l'abaissement de pression dû à des fuites de fluide frigorigène.

### **II.1.2. Par la remontée de pression**

Cette méthode est utilisée avec un circuit mise sous vide ; elle consiste à mettre l'installation sous vide primaire de l'ordre de 1 mbar absolu en isolant le manomètre BP.

L'écart de pression entre l'intérieur et l'extérieur de l'installation est environ 1 bar. La variation de pression est mesurée pendant une durée déterminée (qui dépend du volume de l'installation). Pour cette méthode la fuite est détectée par une entrée d'air.

### **II.1.3. Par le contrôle au manomètre**

Cette méthode permet de contrôler l'état du circuit de fluide frigorigène en fonctionnement. Pour cela si le niveau de pression du circuit diminue, c'est qu'il y a une perte de charge issue d'une fuite.

### **II.1.4. Par un contrôle de variation de température**

Le but de cette méthode est d'augmenter petit à petit la charge de réfrigérant et de faire varier la consigne de niveau dans le condenseur jusqu'à ce que la puissance frigorifique de la machine et son COP soit maximum.

La puissance frigorifique et le COP sont liés à une variation de température  $\Delta T_a$  appelée « small temperature difference » qui caractérise la qualité de l'échange dans les échangeurs. On a alors :

- Dans le condenseur :  $\Delta T_{a_{\text{cond}}} = T_{\text{sortie eau cond}} - T_{\text{condensation}}$  (45)

- Dans l'évaporateur :  $\Delta T_{a_{\text{évap}}} = T_{\text{sortie eau évap}} - T_{\text{évaporation}}$  (46)

Lorsqu'on augmente la charge, les valeurs de  $\Delta T_a$  diminuent jusqu'à une valeur minimum. On peut donc ajouter la charge ; Mais ce complément de charge n'a aucune influence sur la  $\Delta T_a$ . Par contre, si cette valeur est élevée c'est qu'il y a diminution de charge due à des fuites.

**NB** : Si la charge ajoutée à l'installation devient supérieure à la charge optimale de l'installation ; Et qu'aucune modification n'est constatée, c'est qu'il y a fuite. Mais attention, ce n'est pas seulement la fuite de fluide qui influence la valeur de  $\Delta T_a$  ; Mais il y a d'autres facteurs comme la présence de l'eau ou de l'huile dans le fluide.

## **II.2. Les méthodes de détections de fuites**

Pour détecter les fuites sur une installation, plusieurs méthodes peuvent être utilisées :

### **II.2.1. Lampe haloïde**

Elle est uniquement nécessaire pour détecter les fuites sur un circuit qui utilise des fluides frigorigènes chlorés comme réfrigérant. Elle permet de mettre en évidence la présence du fluide frigorigène chloré dans l'air.

Pour cela les vapeurs de fluide se dissocient en passant sur un cuivre incandescent, et les gaz provenant de cette dissociation réagissent sur le cuivre en donnant à la flamme une coloration verte. En cas de fuite la flamme (bleu léger) devient verdâtre ; Avec cette méthode on ne peut pas quantifier les fuites.

### **II.2.2. Eau savonneuse**

Cette méthode peut être utilisée pour la plupart des fluides frigorigènes ; Mais pas assez précis pour les petites fuites et ne permet pas de quantifier les fuites.

Elle consiste à pulvériser la surface extérieure du circuit pressurisé, avec de l'eau savonneuse. Pour cela, s'il y a formation de bulles ; Il y a présence de fuite.

Il faut vérifier si le liquide de détection et les matériaux des éléments contrôlés sont compatibles. Cette méthode permet de détecter des fuites supérieures à plusieurs centaines de g/an.



### **II.2.3. Détecteur électronique**

C'est un moyen de détection et de localisation de fuites avec une indication de dépassement d'une valeur seuil. La valeur de fuite détectée n'est pas indiquée.

Le principe de cette méthode se repose sur l'émission d'ions positifs par une anode en platine portée à incandescence s'il y a présence de fluide halogéné. Pour cela un bip sonore de fréquence invariable signale un dépassement de seuil provoqué par une fuite de fluide frigorigène dans l'air.



*Figure 7 : Photo d'un détecteur électronique*

**NB** : Le détecteur électronique réagit également en cas d'atmosphère polluée.

Avant tout contrôle, il est nécessaire de vérifier le niveau de seuil de détection de l'appareil au moyen d'une fuite calibrée.

### **III. Tirage au vide d'une installation**

Le tirage au vide est l'opération de mise en service de l'installation la plus fréquemment effectuée (avant chaque charge en fluide frigorigène, lors de la récupération de fluides frigorigènes, si l'on effectue un remplacement d'un élément de l'installation et lors du remplacement d'huile). Avant d'effectuer cette opération, il faut s'assurer que les fuites ont été recherchées, et qu'un nouveau deshydrateur vient d'être monté sur l'installation.

#### **III.1. Pourquoi tirer au vide une installation?**

L'humidité est le principal agent destructeur de certains éléments d'un système frigorifique (l'oxydation des composantes internes métalliques du compresseur, le colmatage par un bouchon de glace du détendeur...).

Mais ce n'est pas seulement l'humidité qui perturbe le fonctionnement d'un système frigorifique, mais il y a également l'air, les gaz incondensables, les impuretés solides et les cambouis (corps dans l'huile qui entraîne la décomposition des réfrigérants).

Alors, on doit tirer au vide une installation pour éliminer l'air et l'humidité du circuit frigorifique étanche. Le tirage au vide nécessite un abaissement de pression pour assurer la vaporisation de l'humidité afin d'être enlevée facilement. Cette teneur en humidité est contrôlée par un contrôleur de dépression.

### **III.2. Méthodes de tirage au vide**

Plusieurs procédés comme l'utilisation de la pompe à vide (un procédé physique), pourront être utilisés pour effectuer le tirage au vide d'une installation.

Une pompe à vide est un appareil qui sert à supprimer pratiquement l'air et l'humidité d'un circuit, en abaissant la pression jusqu'au point d'ébullition de l'eau. On peut classer la pompe à vide en deux grandes familles : Les pompes à vide à un étage (utilisées pour les installations domestiques, et automobiles) ; Et les pompes à vide à deux étages (utilisées pour les installations commerciales et industrielles).

Pour l'amélioration d'une bonne efficacité d'un tirage au vide, on peut appliquer la méthode des trois vides (trois tirages et deux cassages au vide):



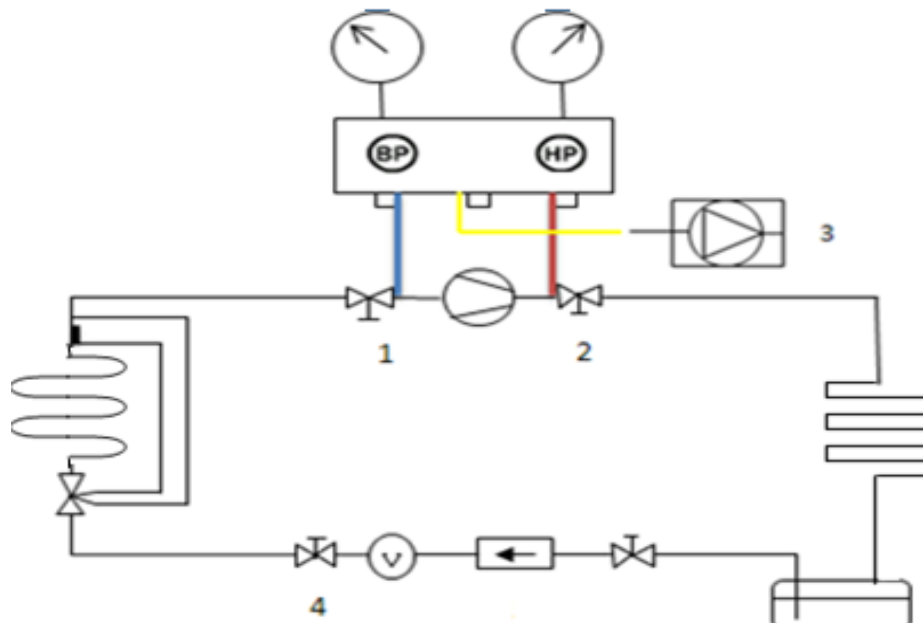
*Figure 8 : Photo d'une pompe à vide*

#### **III.2.1. Tirage au vide**

Pour effectuer un tirage au vide nous devons posséder au moins :

- Une pompe à vide

- Une clef à cliquet
- Un vacuomètre (si c'est nécessaire)
- Un jeu de manifold



*Figure 9 : Schéma de montage d'un tirage au vide*

Pour cela il faut :

- Une installation à l'arrêt
- Brancher les manomètres à l'installation : Le manomètre BP à la vanne de service BP du compresseur (1), et le manomètre HP à la vanne de service HP du compresseur (2).

**NB** : Pendant le tirage au vide, la mesure du niveau de la dépression se fait à l'aide d'un vacuomètre (indicateur de vide).

- Raccorder la flexible centrale jaune sur la pompe à vide (3) et serrer les raccords après.
- Ouvrir les vannes HP et BP des manomètres et du compresseur
- Faire fonctionner la pompe à vide : Pour cela, les vannes d'aspiration et de refoulement du compresseur doivent être en position intermédiaire (les gaz dans le

système seront alors aspirés par la pompe à vide). On peut arrêter la pompe afin d'obtenir une pression nulle (indiquée par le manomètre).

**NB** : Avant la mise en marche de la pompe, veuillez vérifier d'abord le niveau d'huile dans cette pompe à vide.

Le tableau ci-dessous représente la relation entre la pression de la vapeur et la température de l'eau. Pour évaporer l'eau à une température donnée, il faut atteindre la pression correspondante à cette température. On ne peut pas faire l'évacuation de la vapeur d'eau sans avoir passé par cette opération.

Température en °C	-20	-10	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Pression en mbar	1.0	2.6	6.1	8.73	12.2	17	23.3	31.7	42.4	56.2	74

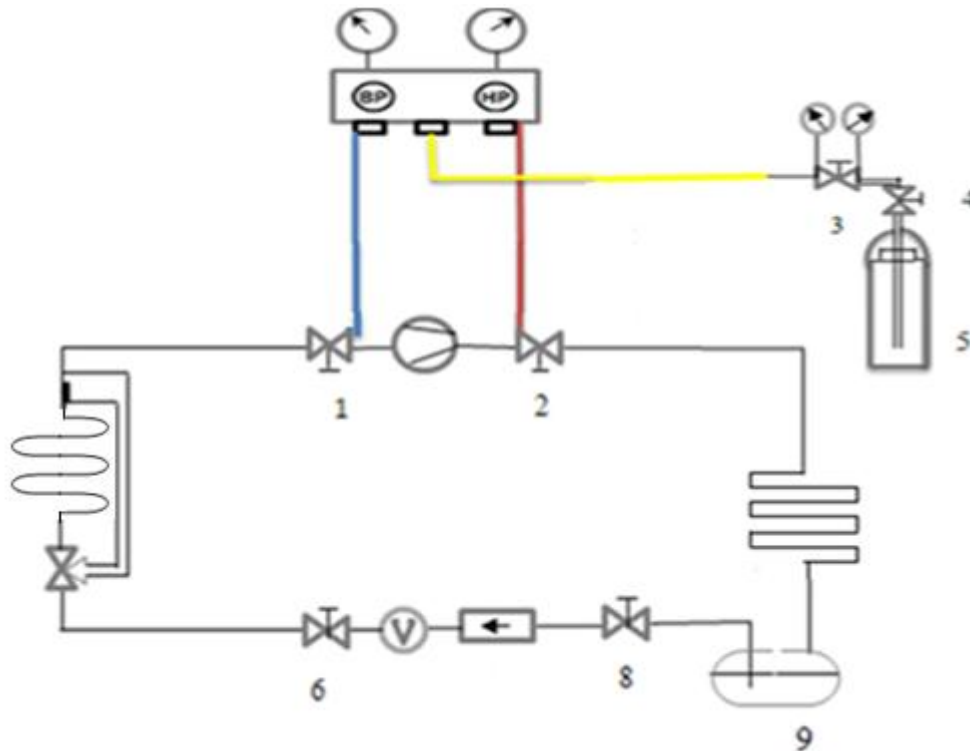
*Tableau 15 : Pression de la vapeur d'eau en fonction de la température*

### **III.2.2. Cassage au vide**

Le cassage au vide consiste à introduire une certaine quantité d'azote sec après le tirage au vide, il peut être répété plusieurs fois en cas de présence d'humidité. Notons que si la dépression dure longtemps, c'est qu'il y a de l'humidité dans le circuit.

Pour effectuer le cassage au vide il faut :

- Mettre en place la bouteille d'azote (5)
- Raccorder la flexible centrale jaune sur le raccord du manodétendeur (3)
- Régler la pression du détendeur à environ 1 bar, puis, ouvrir la vanne d'entrée (4) de la bouteille ; Purger le flexible et introduire l'azote dans le circuit jusqu'à une pression environ de 0.2 bar.
- Fermer les manomètres HP et BP, abaisser la pression du circuit par purge au niveau des manomètres
- Enlever la bouteille d'azote après l'avoir refermée ; Raccorder la pompe à vide et refaire le tirage au vide.



*Figure 10 : Schéma de montage d'un cassage au vide*

### **III.3. Durée du tirage au vide**

Cette opération exige beaucoup de temps, car sa réalisation dépend de quelques facteurs :

- Les caractéristiques de l'installation
- La quantité de l'eau contenue dans cette installation
- La température ambiante autour de l'intégralité de l'installation

C'est ainsi qu'on utilise une étuve pour effectuer le tirage au vide d'un compresseur lors de son remontage.

**NB** : L'évacuation de l'eau par abaissement de pression dure plus longtemps que la simple extraction de l'air.

Pour effectuer la méthode des trois vides ; D'abord, on doit tirer à vide une pression  $p < 270$  [Pa] pendant au moins 30 minutes ; Puis casser le vide avec de l'azote sec et enfin tirer de nouveau à vide une pression  $p < 270$  [Pa] pendant au moins 6 heures. Le taux d'humidité résiduel doit être inférieur à 50 ppm.

#### **IV. Charge en fluide frigorigène**

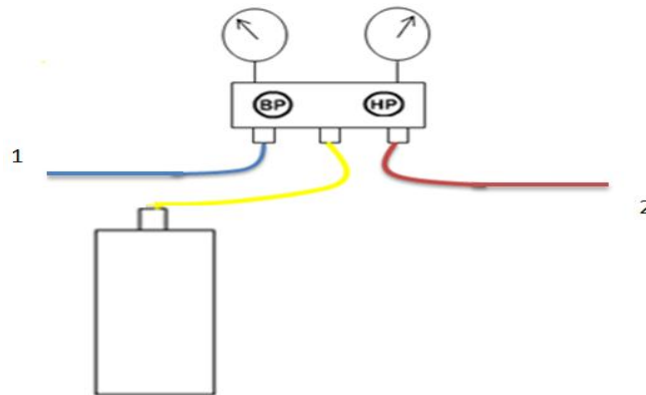
La charge en fluide frigorigène est l'opération qui succède le tirage au vide d'une installation frigorifique ; Elle consiste à introduire une quantité de fluide frigorigène dans l'installation considérée.

##### **IV.1. Techniques de charge**

Il existe quatre façons différentes pour effectuer une bonne charge en fluide frigorigène d'une installation :

##### **IV.1.1. Charge par les pressions**

Elle se fait à l'aide d'un by-pass ; C'est la méthode la plus technique car on peut voir l'évolution des pressions au cours du remplissage de l'installation.



*Figure 11 : Schéma du branchement d'un by-pass*

1 : vers l'aspiration

2 : vers le refoulement

##### **IV.1.2. Charge par la pesée**

Elle se fait à l'aide d'un cylindre de charge muni d'un indicateur de niveau gravé en poids pour les fluides frigorigènes ; Cet appareil permet de connaître la quantité de fluide introduite dans le système, et de compenser les variations de volume du fluide dues aux différences de température entre l'ambiante et le fluide.

#### **IV.1.3. Charge par le givrage**

Elle est uniquement valable pour les températures inférieures à 0°C ; C'est la méthode la plus exacte. Si le givrage n'atteint pas la zone prévue, on doit compléter la charge ; Mais si c'est le cas contraire, le circuit doit être purgé.

Donc pour effectuer une charge correcte il faut tenir compte de la température ambiante.

#### **IV.1.4. Charge par le voyant liquide**

C'est la méthode la plus rapide ; le voyant liquide se place avant l'organe de détente. Après quelques instants de la charge, le détendeur est alimenté seulement en liquide.

**NB** : S'il y a apparition de bulles dans le voyant ; C'est qu'il y a présence de gaz qui montre que le circuit est insuffisamment chargé et le détendeur est mal alimenté. Ce gaz est dommageable pour le bon fonctionnement de l'évaporateur.

### **IV.2. Modes de charge**

On peut charger en fluide frigorigène une installation ; Soit en phase liquide, soit en phase vapeur. Avant d'effectuer cette opération ; Il faut s'assurer que l'installation est étanche et tirée au vide et le by-pass doit être fermé. Cette charge se fait toujours du côté BP, et pour y réaliser on doit avoir:

- Une bouteille de réfrigérant
- Une clef à cliquet
- Un thermomètre équipé d'une sonde de contact
- Des jeux de manifold

#### **IV.2.1. Charge en phase liquide**

Elle est compatible avec les fluides frigorigènes mélanges. Afin de ne pas modifier les proportions du mélange, on doit charger l'installation en phase liquide. Cette méthode est très rapide mais risque d'endommager le compresseur.

On ouvre le robinet du by-pass par à-coups. Pendant l'ouverture du robinet, la pression monte à la BP ; Et après sa fermeture, pendant un certain temps, elle se met à redescendre. Et quand la pression est redescendue, on ouvre de nouveau le robinet pour injecter une nouvelle quantité de fluide.

#### **IV.2.2. Charge en phase vapeur**

Cette méthode de charge est gardée uniquement pour les fluides frigorigènes homogènes ; Elle dure longtemps mais le compresseur est bien sécurisé.

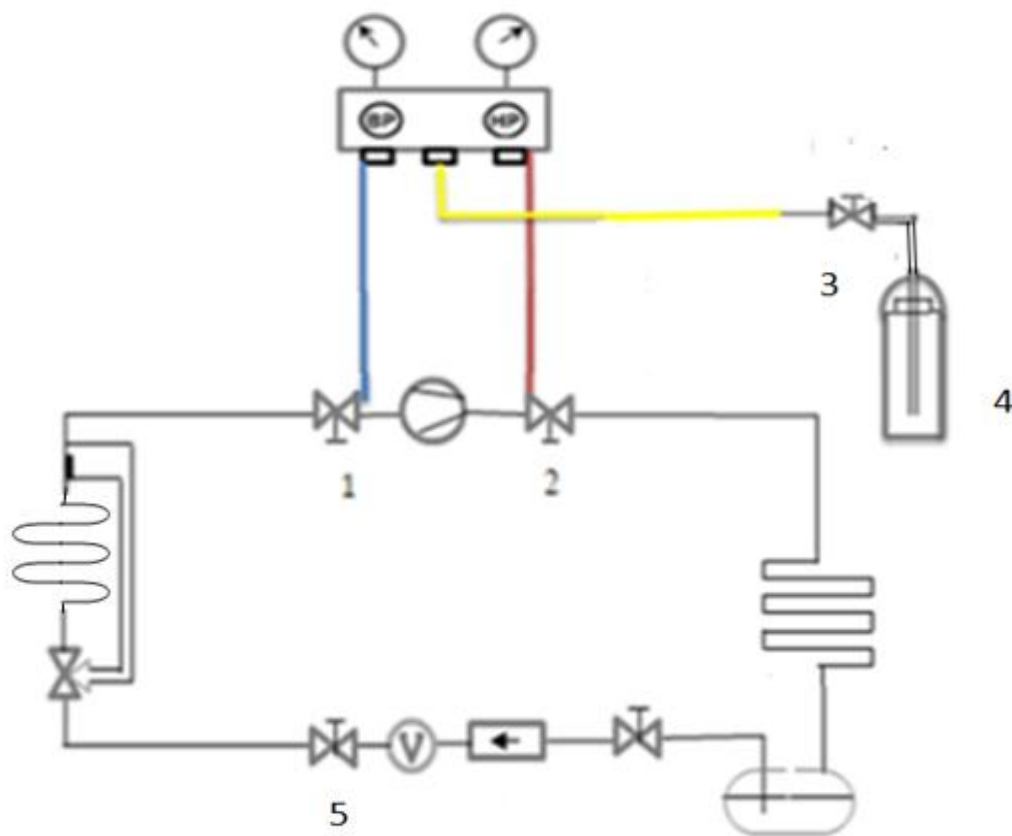
Elle se fait par bouteille tournée, si la bouteille a un tube plongeur. On charge en ouvrant le by-pass coté BP en grand.

#### **IV.3. Mode opératoire**

Pour charger une installation il faut :

- La mettre à l'arrêt
- Raccorder le flexible central jaune sur la bouteille de charge : La bouteille doit être tête en haut pour la charge en phase liquide et tête en bas pour la charge en phase vapeur.
- Raccorder les manifolds de manières suivantes : Le côté BP sur la vanne de service BP du compresseur (vanne 1) ; Et le côté HP sur la vanne de service HP du compresseur ou vanne de départ liquide (vanne 2)
- Ouvrir le robinet de la bouteille de charge (vanne 3)
- Vérifier si les vannes de service (1 et 2) sont déjà ouvertes
- Ouvrir les by-pass (HP et BP) du jeu de manifold afin d'introduire du fluide frigorigène dans le circuit : Le liquide pénètre dans la bouteille de charge (4) et dans le condenseur du circuit. Il ne faut pas attendre l'équilibre total des pressions.
- Refermer les robinets HP et BP du manifold
- Démarrer l'installation
- Pour la charge en liquide ; Après avoir démarré l'installation, on introduit le réfrigérant en faisant des détentes avec le by-pass BP.
- Fermer le by-pass BP du manifold, lorsqu'il y a apparition des bulles au voyant liquide (6).





**Figure 13 : Montage de la charge en fluide frigorigène**

Lorsque la quantité de charge introduite dans le circuit est insuffisante, on doit effectuer un complément de charge ; Car la manque de charge peut provoquer :

- Une diminution de la puissance fournie
- Un givrage partiel de la batterie froide
- Risque de pénétration d'huile, qui entraîne l'échauffement du compresseur.

Pour faire le complément de charge il faut :

- Placer une bouteille de fluide frigorigène sur une balance électronique
- Monter le manifold comme dans la charge
- Mettre l'installation en marche : Le complément de charge se fait par petite injection en phase liquide et par injection prolongée en phase vapeur.
- Ouvrir le robinet BP du manifold et introduire la quantité de fluide frigorigène indiquée. Attention il ne faut pas ouvrir celui du HP car lorsque le

compresseur est en fonctionnement, la pression à cet endroit est supérieure à celle de la bouteille ; Et cela risque de renvoyer du fluide et de l'huile dans la bouteille.

On peut arrêter la charge si la pression et la température sont atteintes. On peut dire que la charge est correcte, s'il n'y a plus de bulles dans le voyant. On peut donc fermer et enlever le robinet de la bouteille.

**NB** : Lorsque l'installation montre une chute de température, le voyant peut buller du fait du détendeur ; Il faut alors pour cela, mesurer le sous refroidissement au niveau du condenseur (entre 4 et 7K), de même pour la surchauffe pour s'assurer que la charge est convenable.

## **V. Soutirage et complément d'huile**

Après avoir fini la charge en fluide frigorigène, il est nécessaire de procéder à un soutirage d'huile et puis au complément d'huile si c'est possible.

### **V.1. Soutirage d'huile**

Le soutirage d'huile est une opération qui consiste à effectuer :

- ✓ Un test d'acidité
- ✓ L'analyse d'huile
- ✓ Le remplacement d'huile

Voici les procédures à suivre pour soutirer l'huile d'une installation :

- ✓ Raccorder le manifold sur le compresseur
- ✓ Fermer la vanne de service BP du compresseur
- ✓ Mettre en route le compresseur et l'arrêter si le BP atteint 0.3 bar
- ✓ Couper l'alimentation du compresseur et la résistance de carter
- ✓ Brancher le flexible sur le robinet d'huile et l'autre extrémité dans le récipient d'huile
- ✓ Ouvrir le robinet d'huile et soutirer la quantité nécessaire
- ✓ Fermer le robinet d'huile, mettre sous tension la résistance du carter et le compresseur ; et puis remettre en route l'installation.

**NB** : Le récipient doit être sec et propre et il ne faut pas que l'huile récupéré soit en contact avec l'air atmosphérique.

### **V.2. Complément d'huile**

Il consiste à introduire une quantité d'huile manquante ; Pour pouvoir le réaliser il est nécessaire d'utiliser une pompe à huile manuelle.

Pour cela, il faut :

- ✓ Raccorder le manifold sur le compresseur
- ✓ Fermer la vanne de service BP du compresseur
- ✓ Faire fonctionner le compresseur et l'arrêter jusqu'à ce que la BP soit à 0.1 bar
- ✓ Couper l'alimentation électrique du compresseur
- ✓ Raccorder le flexible sur le robinet d'huile et sur la pompe à huile manuelle
- ✓ Plonger l'aspiration de la pompe à huile dans le réservoir d'huile
- ✓ Pomper l'huile du réservoir pour effectuer le complément d'huile
- ✓ Fermer le robinet d'huile et débrancher les flexibles de la pompe à huile manuelle
- ✓ Mettre la vanne de service BP du compresseur en position intermédiaire
- ✓ Mettre sous tension le compresseur puis le démarrer
- ✓ Vérifier le niveau d'huile.

### **Chapitre III: Récupération en fluide frigorigène**

La récupération de fluide frigorigène est une opération qui permet de soutirer le fluide frigorigène contenu dans une installation vers un réservoir adéquat en vue de sa réutilisation, de sa régénération en usine, ou bien de sa destruction dans les systèmes spécialisés. Les fluides frigorigènes doivent être récupérés pour éviter leur émission dans l'atmosphère.

#### **I. Matériels nécessaires**

On doit récupérer à l'aide de:

- Une bouteille de récupération : Qui est identifiée par une indication de couleur verte fluorescente, elle doit être tirée au vide et propre ; elle est munie d'une fiche d'identification qui indique la nature du fluide récupérable et la charge maximale de fluide frigorigène.

Exemple : Une bouteille de 12 litres peut contenir 12.5 kg ; Une bouteille de 27 litres contient 24 kg.

- Une pompe pneumatique ou pompe manuelle
- Un manifold
- Une balance
- Un jeu de flexible en ¼ ou 3/8 équipés de robinet ¼ de tour
- Un réservoir liquide qui comporte en partie basse une vanne de vidange

#### **II. Condition de départ**

Avant d'intervenir à cette opération, il faut respecter les consignes de sécurité pour la manipulation des fluides frigorigènes, suivantes :

- ✓ Couper le courant électrique
- ✓ Ne jamais mélanger des fluides différents, chacun doit avoir sa bouteille de récupération
- ✓ Respecter la pression indiquée sur l'emballage. Il ne faut pas remplir 100% en liquide (80% au maximum).
- ✓ Il faut connaître la charge initiale de l'installation et le type d'installation, pour pouvoir choisir la méthode.
- ✓ Il faut savoir aussi le type de fluide frigorigène à récupérer

### **III. Méthodes de récupérations**

Il existe deux procédés pour récupérer les fluides frigorigènes d'un circuit :

#### **III.1. Récupération en phase liquide**

Cette méthode est plus rapide, mais le fluide récupéré peut contenir encore de l'huile. Le fluide frigorigène liquide contenu dans le système n'a pas besoin de se vaporiser. De plus cette méthode permet de transférer rapidement dans l'ordre de 94% de la charge totale de l'installation. Pour la récupération en phase liquide, si le compresseur est en marche. Il faut transférer tout fluide contenu dans l'installation, dans la bouteille de récupération HP. Ainsi plusieurs méthodes de transfert de fluide sont possibles :

##### **III.1.1. Transfert par gravité**

Il est basé sur le principe de vases communicants, qui a pour but de transférer par gravité le liquide du réservoir liquide dans la bouteille de récupération.

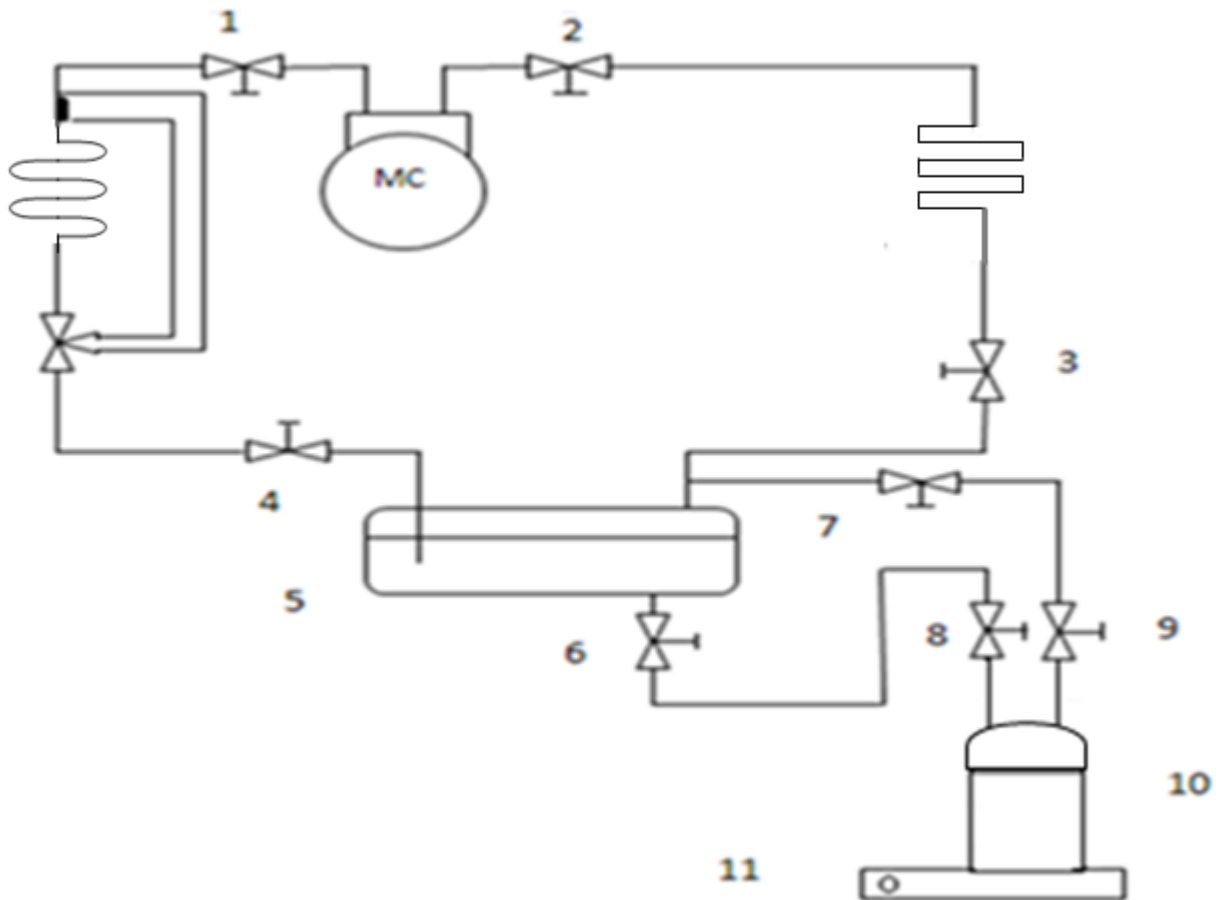
Pour pouvoir accomplir cette opération il faut que :

- Le niveau bas du réservoir de l'installation doit être supérieur au niveau haut de la bouteille de récupération.
- La tuyauterie qui conduit le liquide entre les deux bouteilles ne doit pas monter au dessus du niveau bas du réservoir de l'installation.
- Le volume gazeux des deux bouteilles doit être relié par une tuyauterie d'équilibrage gaz.

#### **Mode opératoire**

- Vérifier si le type de transfert est possible
- Placer la bouteille de récupération (10) vide sur la bascule (11)
- Fermer la vanne de départ liquide (4) du réservoir HP (5)
- Fermer les vannes 2 ou 3 si elle existe
- Raccorder la vanne de vidange 6 à la vanne 8 (entrée du liquide) de la bouteille de récupération.
- Ouvrir la vanne 6 et purger au niveau de la vanne 8 l'air du flexible, puis fermer cette vanne

- Raccorder la vanne d'équilibre gaz (7) à la vanne d'entrée de gaz (9) de la bouteille de récupération.
- Ouvrir la vanne 7 et purger au niveau de la vanne 9 l'air du flexible, puis resserrer celui-ci.
- Ouvrir les vannes 8 et 9 pour que le liquide du réservoir se transfère par gravité vers la bouteille.
- Contrôler la bascule et éviter la surcharge de la bouteille de récupération.
- Si la bouteille est remplie à 80% ; On doit refermer les vannes 6, 7, 8.
- Recommencer l'opération avec une autre bouteille si c'est nécessaire.
- Mettre des étiquettes sur la bouteille de fluide qu'on vient de récupérer



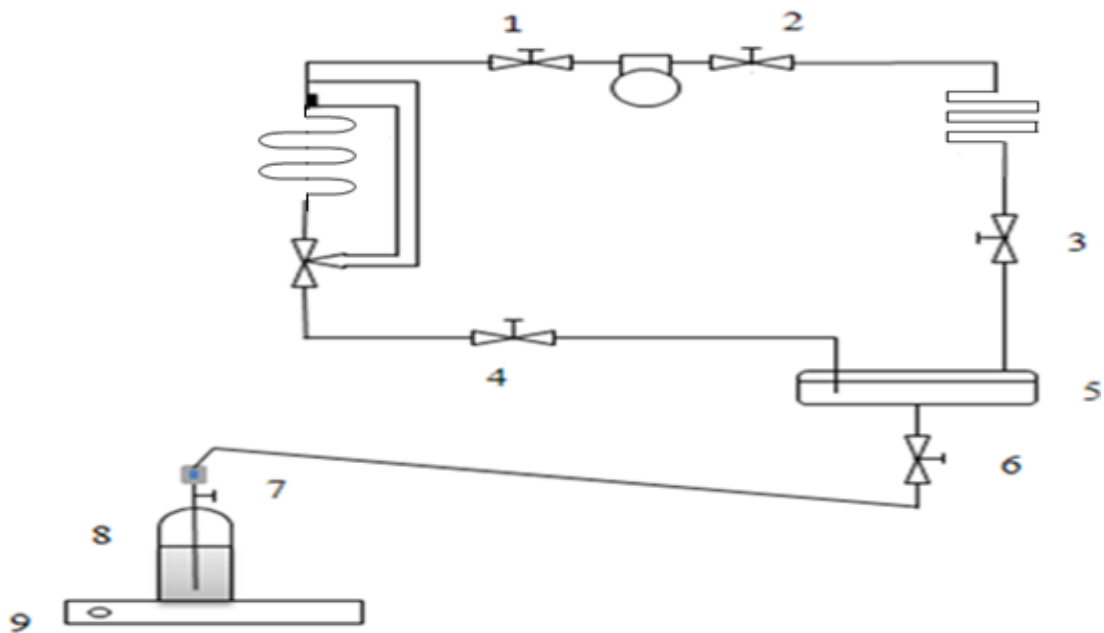
*Figure 14 : Schéma du montage de transfert liquide par gravité*

Le débit de liquide récupérable est de 100 à 150 kg/h pour un dénivelé de 1m avec des flexibles 3/8 ; Cette méthode est utilisée pour les installations contenant une grande quantité de fluide.

### **III.1.2. Transfert par dépression**

Selon cette méthode, le transfert s'effectue par différence de pression ; Pour cela, il s'arrête automatiquement jusqu'à ce que les pressions soient en équilibre. Avec cette méthode on peut transférer le liquide de l'ordre de 20% à 50% de celle que peut contenir la bouteille de récupération. Le transfert sera plus rapide si le liquide contenu dans le réservoir de l'installation est à température élevée, car pour cela le transfert de fluide vers le réservoir liquide HP est facile à réaliser.

### **Mode opératoire**



*Figure 15 : Schéma du montage de transfert liquide par dépression*

Pour effectuer cette opération il faut :

- Placer la bouteille de récupération (8) sur la bascule (9)
- Fermer la vanne de départ liquide (4) du réservoir HP (5)
- Fermer les vannes 2 et 3 si cette dernière existe

- Raccorder la vanne de vidange (6) à la vanne d'entrée du liquide (7) de la bouteille de récupération
- Ouvrir ensuite la vanne 6, et purger l'air du flexible au niveau de la vanne 7 ; Ensuite resserrer cette vanne.
- Ouvrir la vanne 7 pour que le liquide entre dans la bouteille de récupération (ce transfert se fait par dépression)
- A la fin du transfert refermer les vannes 6 et 7 et continuer la récupération avec d'autre méthode.

Le débit de liquide récupérable est de 120 à 130 kg/h ; De plus cette méthode n'exige pas d'organe mécanique et applicable pour la plupart des installations.

### **III.1.3. Transfert par pompe**

On peut utiliser une pompe centrifuge ou une pompe pneumatique à pistons, qui ne pose pas de contraintes particulières et de permettre sans modification de raccorder des flexibles qui peuvent assurer trois transferts successifs : transfert liquide par dépression, puis par pompe et enfin transfert du gaz. Par contre la pompe centrifuge, pose des contraintes :

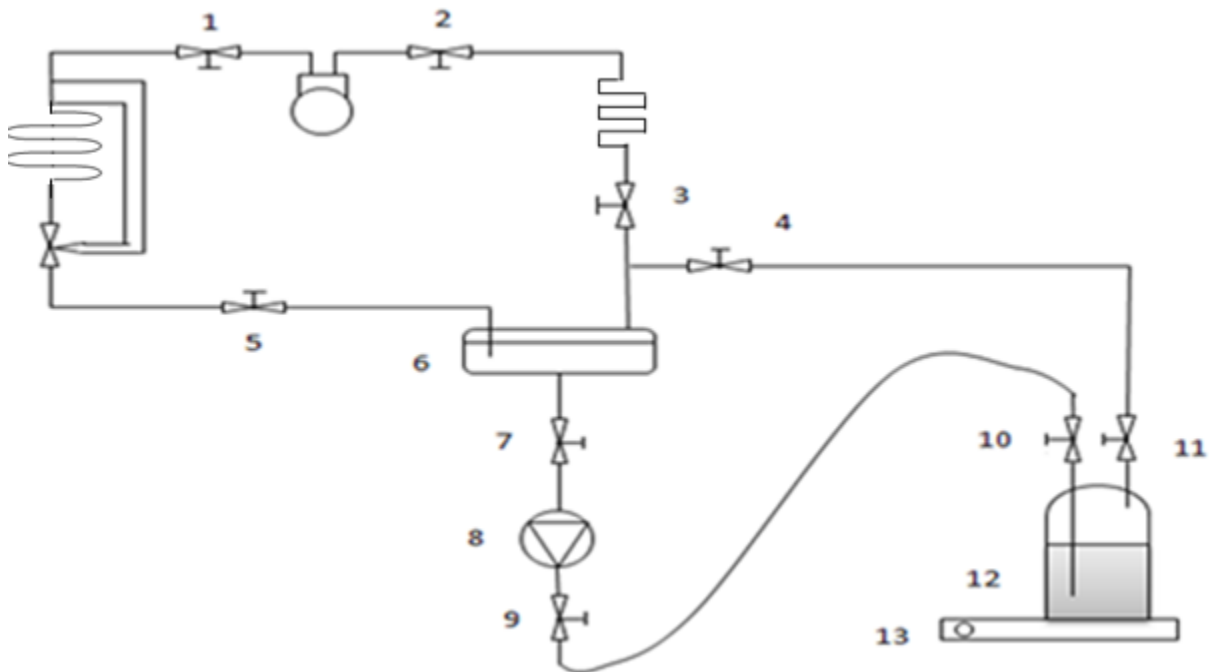
- ✓ Exigence d'une vanne de vidange en partie basse du réservoir liquide
- ✓ La pompe de transfert liquide doit être placée sous le niveau bas du réservoir liquide
- ✓ Pour éviter les risques de cavitation, il faut avoir une tuyauterie d'équilibrage de gaz, qui doit relier le volume gazeux de la bouteille et du réservoir.

### **Mode opératoire**

- Placer la bouteille de récupération (12) sur la bascule (13).
- Fermer la vanne de départ liquide 5 du réservoir HP.
- Fermer la vanne 2 (et 3 si elle existe).
- Installer la pompe (8) sous le réservoir liquide, juste à la sortie de la vanne 7 (ou à la sortie de la vanne de départ liquide 5 s'il s'agit d'une pompe à piston).
- Raccorder la vanne de refoulement 9 de la pompe à la vanne d'entrée de liquide 10 de la bouteille de récupération.
- Ouvrir la vanne 7, et purger au niveau de la vanne 10 l'air contenu dans le flexible et la pompe, puis fermer celui-ci.



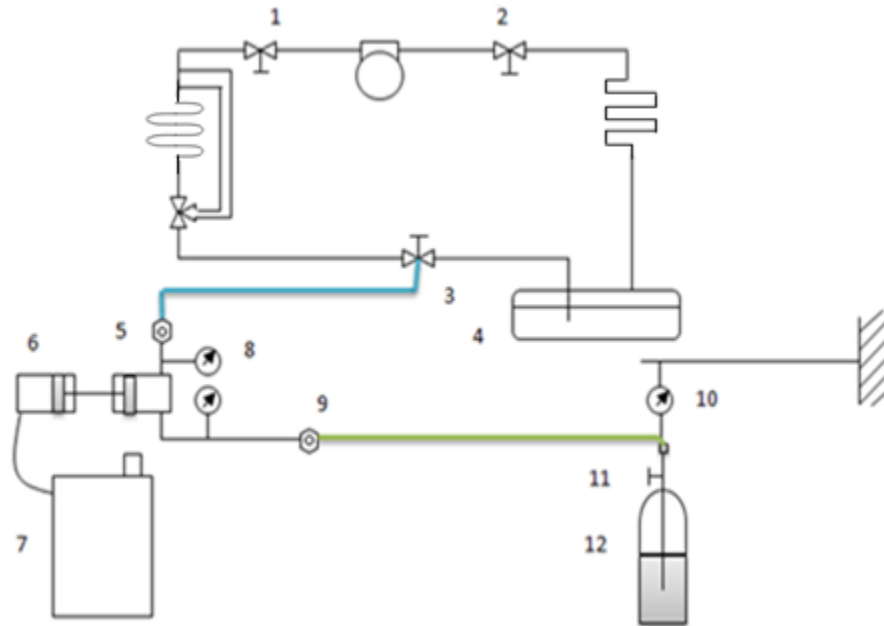
- Raccorder la vanne d'équilibrage de gaz 4 à la vanne d'entrée de gaz 11 de la bouteille de récupération (ce n'est pas obligatoire pour le cas d'une pompe à piston, mais peut être utile pour éviter le surcharge de la bouteille).
- Ouvrir les vannes 4 et 9, puis purger au niveau de la vanne 11 l'air du flexible et la refermer ensuite.
- Ouvrir les vannes 10 et 11.
- Mettre en marche la pompe.
- Contrôler la bascule et éviter le sur-remplissage de la bouteille.
- Lorsque la bouteille est remplie :
  - Couper l'alimentation de la pompe (dans le cas des pompes centrifuges)
  - Au contraire pour les pompes pneumatique à piston car elle permet de récupérer la phase gazeuse.
- Terminer l'opération et fermer toutes les vannes, retirer les flexibles.
- Recommencer la récupération si c'est utile.
- Etiqueter soigneusement les bouteilles de fluide récupéré.



*Figure 16 : Schéma du montage d'un transfert liquide par pompe centrifuge*

Le débit de liquide transféré est de l'ordre de 300 kg/h pour les pompes pneumatiques à piston, et plusieurs m<sup>3</sup>/h pour les pompes centrifuges ; Ce qui permet de gagner de temps.

Le mode opératoire est la même pour les deux pompes mais le montage qui le diffère.



**Figure 17 : Schéma du montage d'un transfert liquide par pompe pneumatique**

Cette méthode entraîne une élévation de la cavitation de la pompe car le liquide est proche de son point d'ébullition. De plus la pompe ne doit pas fonctionner à sec car ceci risque de la détruire. L'utilisation de la pompe pneumatique à piston nécessite une disposition de l'air comprimé dans un local.

### **III.2. Récupération en phase vapeur**

Du point de vue temps, cette méthode est relativement lente, mais permet de récupérer jusqu'à 90% de la charge totale de l'installation. Et le fluide frigorigène récupéré ne contient plus d'huile.

Cette méthode ne peut pas s'appliquer qu'aux installations de petites tailles (charge < 50 kg) ou pour les grande taille après la récupération en phase liquide.

Pour faire le transfert en phase gazeux on doit avoir :

- ✓ Un filtre

- ✓ Un compresseur
- ✓ Des pressostats de sécurité
- ✓ Des vannes d'isolement à l'entrée et à la sortie
- ✓ Condenseur à air ventilé pour les petites installations
- ✓ Un cylindre de récupération
- ✓ Une balance pour pesée

### **III.2.1. Méthodes de récupération en phase vapeur**

On dispose deux méthodes de récupération en phase vapeur :

#### **III.2.1.1. Transfert en phase vapeur par refroidissement**

Si on refroidit la bouteille de récupération jusqu'à une température inférieure à celle du circuit ; La pression dans la bouteille sera inférieure à celle du circuit et ceci entraîne une aspiration naturelle du fluide dans la bouteille.

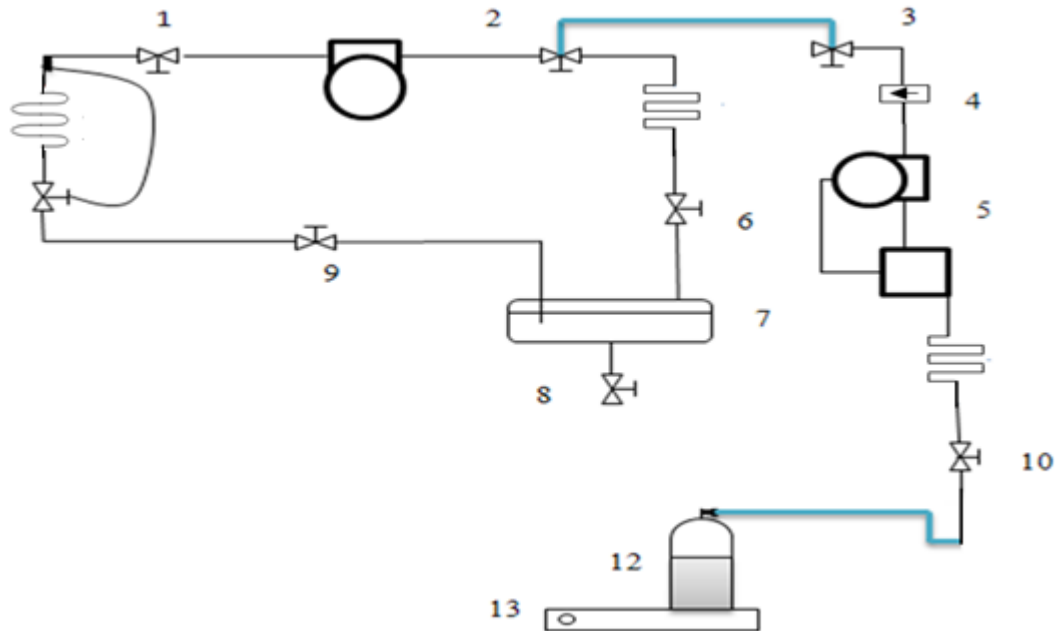
#### **III.2.1.2. Transfert en phase vapeur par le compresseur**

Pour pouvoir effectuer cette opération, il est nécessaire d'installer un groupe de transfert au compresseur si celui-ci est à l'arrêt. Le compresseur utilisé doit être à piston ou à membrane, qui permet d'éviter la présence de filtre anti-acide à l'aspiration et surtout la présence d'huile.

### **III.2.2. Mode opératoire**

- Placer la bouteille de récupération (12) sur la bascule (13).
- Raccorder la vanne d'aspiration 1 ou la vanne de refoulement 2 du compresseur (ou bien les deux à l'aide d'un manifold) à la vanne d'entrée (3) du groupe de transfert.
- Contrôler le niveau d'huile du compresseur en complétant la charge si c'est nécessaire.
- • Raccorder la vanne de sortie 10 du condenseur à air du groupe de transfert à la vanne 11 de la bouteille de récupération.
- Ouvrir la vanne du compresseur raccordée à l'installation (1 ou 2) et purger l'air du flexible.
- • Ouvrir la vanne d'entrée 3 et la vanne de sortie 10 du groupe de transfert.
- Mettre en marche le groupe de transfert (compresseur et condenseur)
- Contrôler la pesée et éviter à la surcharge de la bouteille.
- A la fin de l'opération, après avoir arrêté le groupe, fermer les vannes 10 et 11.

- Etiqueter les bouteilles de récupération



**Figure 18 : Schéma du montage d'un transfert en phase vapeur**

Dans le cas d'un groupe de transfert à compression, si le compresseur n'est pas associé à un système de refroidissement externe, il ne faut pas abaisser la pression du circuit jusqu'à la pression atmosphérique, afin de ne pas endommager le compresseur. Car ce sont les gaz aspirés qui assurent l'évacuation de la chaleur de compression et les pertes thermiques du moteur. Or cette phénomène entraîne une élévation de température interne du compresseur, d'une surchauffe des bobinages, et un mauvais refroidissement des pièces mécaniques.

## CONCLUSION

Dans certains pays comme Madagascar, des petites entreprises pour la réparation et recharge des appareils frigorifiques ont été très développées dans la société, sans savoir les dangers liés à la manipulation des fluides frigorigènes.

Néanmoins, la pratique de ces opérations exige beaucoup de compétences et d'expériences, c'est-à-dire, que seuls, les techniciens frigoristes peuvent procéder à la maintenance des systèmes frigorifiques.

De plus, à Madagascar peu de gens sait comment récupérer les fluides frigorigènes. D'ailleurs, l'estimation de la quantité de charge à introduire dans une installation reste toujours un point d'interrogation.

Ainsi, ce mémoire a pour objectif de bien maîtriser la manipulation des fluides frigorigènes, en particulier la charge et la récupération. La majorité de l'utilisateurs n'ont tous pas la possibilité de payer les techniciens pour réparer ou charger leur appareil frigorifique. Alors, ce travail leurs permet de connaître au moins les différentes procédures à suivre lors de la maintenance d'un appareil frigorifique, surtout, à la récupération pour réduire l'émission des fluides frigorigènes dans l'atmosphère. Dans cet ouvrage, nous avons essayé de calculer la quantité de fluide frigorigène à charger dans une installation ; Pour cela nous adoptons une méthode simple mais fiable.

Pour terminer, nous espérons que la récupération ne serait plus négligée pendant l'entretien d'une installation, pour conserver notre environnement; De plus nos études donnent des résultats satisfaisants. Mais, une longue investigation de recherche serait encore nécessaire pour le calcul de quantité de charge ; Et nous espérons, que notre étude fera l'outil significatif pour les futures recherches.

# **ANNEXES**

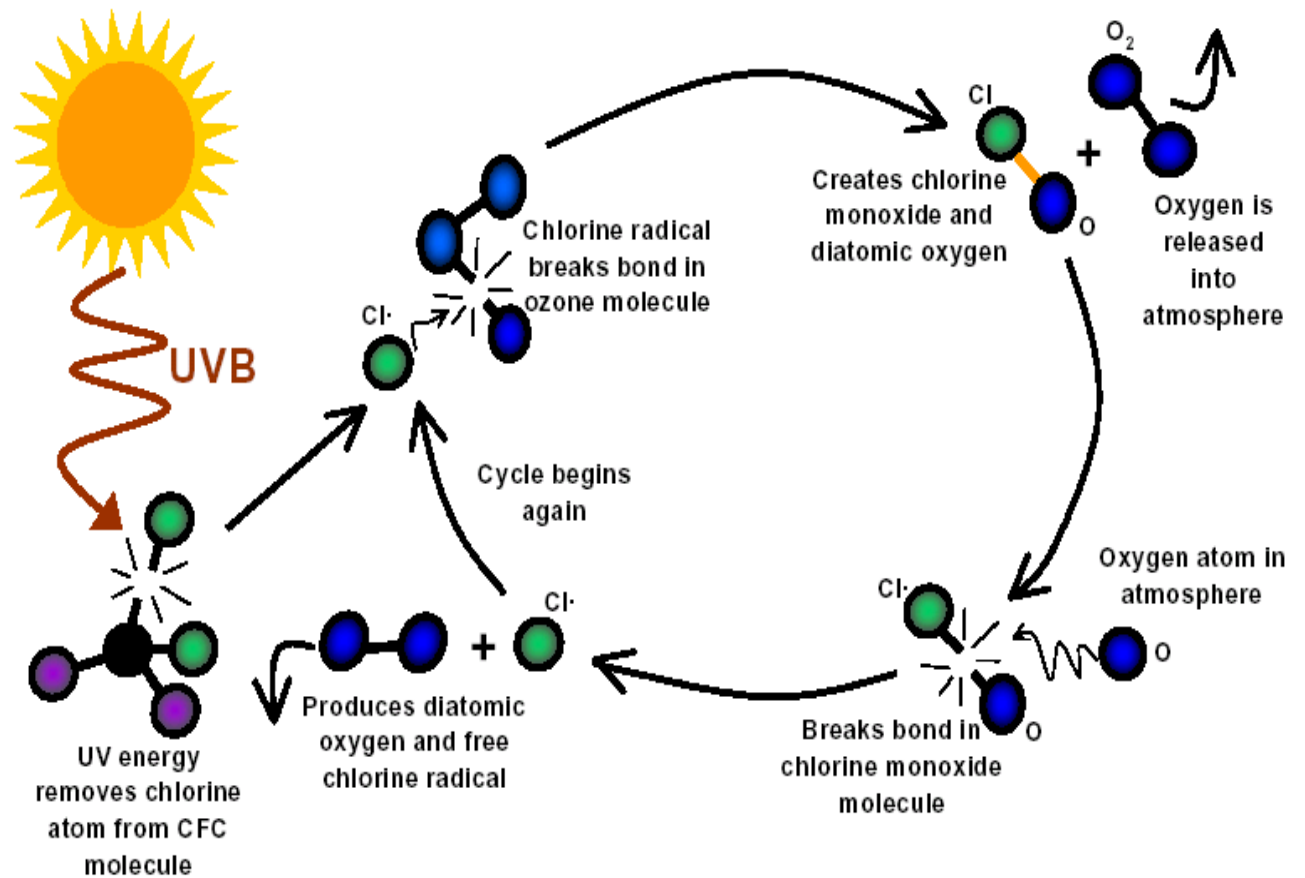
## ANNEXE I

Tableau de comparaison dun condenseur à air et condenseur à eau

Condenseurs	Avantages	Inconvénients
Condenseur à air	<ul style="list-style-type: none"><li>• Air disponible en quantité illimité</li><li>• Entretien simple et réduit</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Coefficient global d'échange thermique faible</li><li>• Plus imposant et plus lourde</li><li>• Température de condensation élevée dans les pays chauds</li></ul>
Condenseur à eau	<ul style="list-style-type: none"><li>• Coefficient global d'échange thermique très élevé</li><li>• Plus compacts et moins encombrants à puissance égale</li><li>• Température de condensation stable et à bas niveau</li><li>• Fonctionnement moins bruyant</li><li>• Possibilité de récupération d'énergie</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gaspillage d'eau pour les condenseurs à eau perdue</li><li>• Nécessité de mise en place d'un système de refroidissement d'eau</li></ul>

## ANNEXE II

Schéma qui représente le phénomène de destruction de la couche d'Ozone





## ANNEXE III

Evolution de la consommation de SAO à Madagascar

MADAGASCAR																
ODS Consumption in ODP Tonnes																
Database last updated: Friday 24th September 2010 at 11:13.																
Madagascar																
Anx Grp	AnxGrpName	1986	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2000	2000
A I	CFCs	49.0	49.0						19.5	20.5	103.6	23.9	26.3	12.4	9	
A II	Halons	0.0	0.0						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	
B I	Other Fully Halogenated CFCs		0.6						0.0	0.0	0.2	1.1	1.5	0.0	0	
B II	Carbon Tetrachloride		0.0						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	
B III	Methyl Chloroform		0.0						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	
C I	HCFCs		1.1						0.0	0.0	7.7	0.0	0.0	1.1	0	
C II	HBFCs		0.3						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	
C III	Bromochloromethane															
E I	Methyl Bromide				0.8				1.3	3.0	3.0	3.1	1.2	0.7	0	

## ANNEXE IV

Détails concernant les singularités :

Tuyauteries des chambres froides :

Diamètre	Singularité	Longueur [mm]	Nombre	Perte de charge totale [bar]
Ø 6[mm]	Coude à 90°	100	4	0,060467
	Rétrécissement $A_1 = 16 \ A_2 = 6$	200	1	0,0015123
Ø 8[mm]	Coude à 90°	100	8	0,0010224
	Rétrécissement $A_1 = 12 \ A_2 = 8$	200	1	0,0010224
	Bifurcation	120	1	0,0011931
Ø 12[mm]	Coude à 90°	214	20	0,540292
	Rétrécissement $A_1 = 22 \ A_2 = 12$	200	3	0,0028617
	Bifurcation	140	6	0,1601802
Ø 16[mm]	Coude à 90°	200	5	0,0276865
	Rétrécissement $A_1 = 28 \ A_2 = 16$	200	1	0,0002313
Ø 22[mm]	Coude à 90°	180	30	0,237612
	Rétrécissement $A_1 = 28 \ A_2 = 22$	200	3	0,0005229
	Bifurcation	200	3	0,0243948

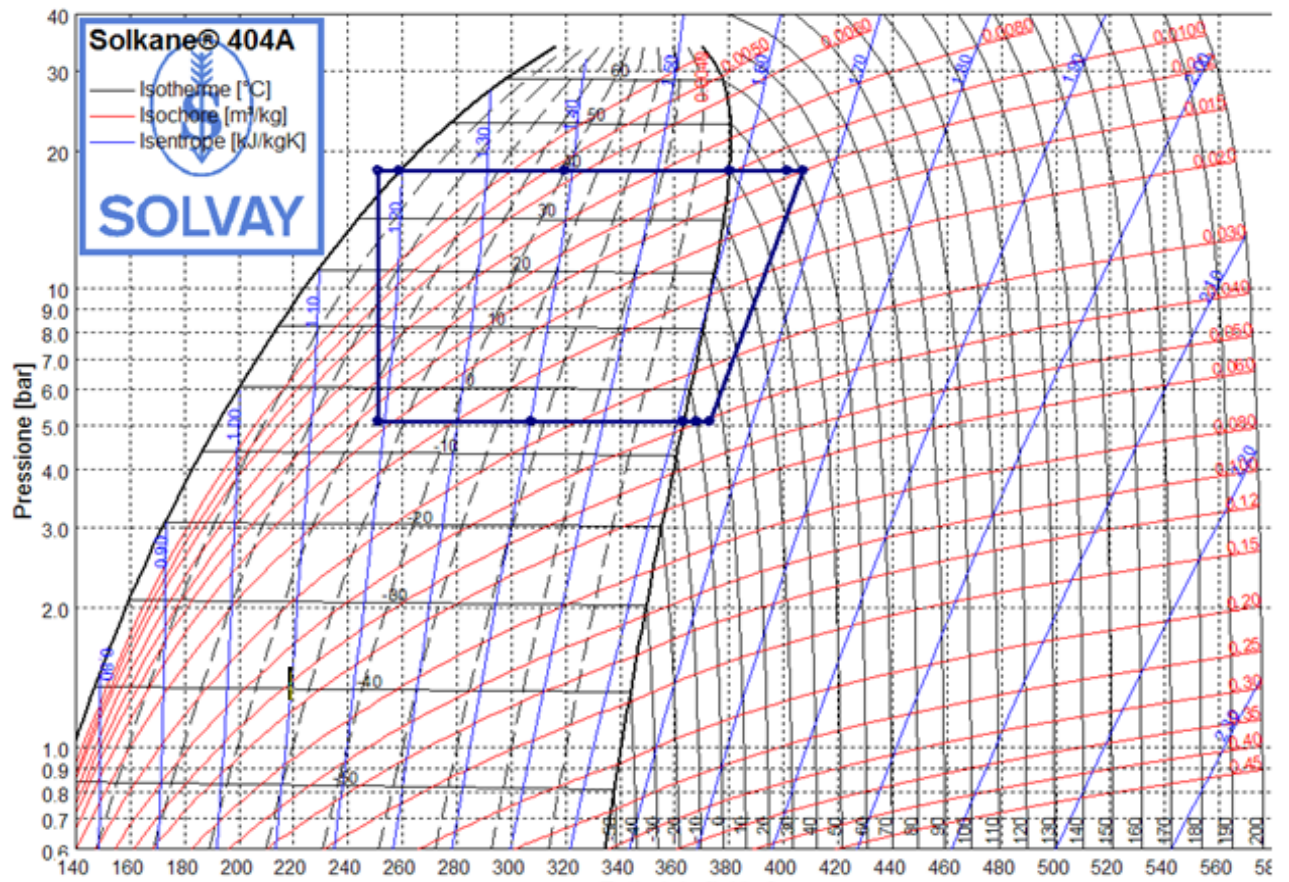
# ANNEXE V

**Tableau 25. Table de saturation du R404A.**

θ [°C]	Phase liquide					Phase vapeur				Chaleur latente de vaporis. [kJ/kg]
	p bulle [Bar]	Masse volumique [kg/dm³]	Enthalpie [kJ/kg]	Entropie [kJ/(kg.K°)]	p rosée [Bar]	Masse volumique [kg/m³]	Enthalpie [kJ/kg]	Entropie [kJ/(kg.K°)]		
-50,0	0,8567	1,3188	137,8	0,751	0,8176	4,429	339,1	1,656	201,3	
-45,0	1,0871	1,3032	143,5	0,777	1,0398	5,541	342,4	1,651	198,8	
-40,0	1,3642	1,2874	149,3	0,802	1,3076	6,866	345,6	1,646	196,3	
-35,0	1,694	1,2713	155,3	0,827	1,6274	8,431	348,8	1,642	193,6	
-30,0	2,0833	1,2549	161,3	0,851	2,0059	10,269	352,0	1,638	190,8	
-25,0	2,5391	1,2381	167,4	0,876	2,4504	12,413	355,2	1,635	187,8	
-20,0	3,0686	1,221	173,6	0,901	2,9684	14,902	358,3	1,632	184,7	
-15,0	3,6797	1,2035	180,0	0,926	3,5677	17,78	361,4	1,630	181,4	
-10,0	4,3804	1,1855	186,5	0,950	4,2566	21,094	364,4	1,628	177,9	
-5,0	5,1789	1,1671	193,2	0,975	5,0438	24,899	367,3	1,626	174,2	
0,0	6,0841	1,1481	200,0	1,000	5,938	29,258	370,2	1,624	170,2	
5,0	7,1048	1,1285	207,0	1,025	6,9486	34,243	372,9	1,623	165,9	
10,0	8,2505	1,1081	214,2	1,050	8,0852	39,938	375,5	1,621	161,3	
15,0	9,5307	1,087	221,6	1,076	9,3574	46,443	378,0	1,619	156,4	
20,0	10,9554	1,065	229,2	1,101	10,7755	53,88	380,3	1,618	151,1	
25,0	12,5348	1,0418	237,1	1,127	12,3498	62,397	382,4	1,615	145,3	
30,0	14,2798	1,0174	245,3	1,154	14,0911	72,18	384,2	1,613	139,0	
35,0	16,2012	0,9914	253,8	1,181	16,0102	83,469	385,8	1,610	132,0	
40,0	18,3104	0,9635	262,7	1,209	18,1185	96,58	387,0	1,606	124,3	
45,0	20,6193	0,9332	272,1	1,238	20,4276	111,952	387,9	1,602	115,7	
50,0	23,1401	0,8996	282,2	1,268	22,9493	130,221	388,1	1,596	106,0	

## ANNEXE VI

Diagramme enthalpique du R404A



## **BIBLIOGRAPHIE**

**[1] : BNO du Ministère de l'Environnement, en collaboration avec le PNUE, «ATELIER DE FORMATION DES FRIGORISTES SUR LES BONNES PRATIQUES EN REFRIGERATION » du 28 août 2006.**

**[2] : RANAIVOSON Andriambala Hariniaina, « COURS DU FROID INDUSTRIEL », année 2005. Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.**

**[3] : PNUE division de la Technologie, l'Industrie et l'Economie, « FORMATION NATIONALE SUR LES BONNES PRATIQUES EN REFRIGERATION ». Programme Action Ozone 2001.**

**[4] : P.J Rapin, « FORMULAIRE DU FROID », Paris, DUNOD, 1985.**

**[5] : P.J. Rapin et P. Jacquard, « INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES », Edition 254, rue de Vaugirard-Paris Cedex 15.**

**[6] : Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en Génie Industriel; « ETUDE COMPARATIVE TECHNICO-ECONOMIQUE DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES : A R404A et A R717 ». Rédigé par SOLOFOMALALA Andy, promotion 2006.**

**[7] : Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en Génie Industriel; « ETUDES DES BESOINS EN FROID D'UN SUPERMARCHÉ SIS A TULEAR ». Rédigé par RASOLOFOMANANA Ketaka Andrianina, promotion 2006.**

## WEBOGRAPHIE

[8] : <http://froid-forum.3oloum.org/t7-la-charge-en-fluide-frigorogene>

[9] : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide frigorig%C3%A8ne](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide_frigorig%C3%A8ne)

[10] : [http://www.afpibretagne.com/private\\_dir/formations/IFZC022009 La%20r%C3%A9cup%C3%A9ration%20des%20fluides%20frigorig%C3%A8nes.pdf](http://www.afpibretagne.com/private_dir/formations/IFZC022009_La%20r%C3%A9cup%C3%A9ration%20des%20fluides%20frigorig%C3%A8nes.pdf)

[11] : <http://www.pdfbooksdownloads.com/methode-de-charge-en-fluide-frigorogene.html>

## **TABLE DE MATIERES**

REMERCIEMENTS .....	I
LISTE DES FIGURES .....	II
LISTES DE TABLEAUX.....	III
ABREVIATIONS ET SYMBOLES.....	IV
INTRODUCTION .....	1
PARTIE I : .....	1
GENERALITES SUR L'UTILISATION DES FLUIDES FRIGORIGENES .....	
Chapitre I : Notion sur la production du froid .....	2
I. Principe de la thermodynamique .....	2
I.1. Enoncé des principes de la thermodynamique .....	2
I.1.1. Premier principe de la thermodynamique.....	2
I.1.2. Second principe de la thermodynamique.....	3
I.2. Machines thermodynamiques .....	4
I.3. Machines dynamothermiques .....	5
II. Diagramme de Mollier.....	6
II.1. Cycle mono-étagé.....	6
II.2. Cycle bi-étagé.....	8
II.3. Principaux éléments du circuit frigorifique.....	9
II.3.1. Le compresseur .....	9
II.3.1.1. Les compresseurs volumétriques .....	9
II.3.1.2. Les compresseurs centrifuges ou turbocompresseurs .....	10
II.3.1.3. Les compresseurs hermétiques .....	11
II.3.1.4. Les compresseurs ouverts.....	11
II.3.1.5. Les compresseurs semi-hermétiques .....	11
II.3.2. Le condenseur .....	11
II.3.2.1. Condenseur à air .....	12

II.3.2.2. Condenseur à eau .....	12
II.3.2.3. Condenseur évaporatif .....	13
II.3.3. Le détendeur .....	13
II.3.3.1. Le détendeur capillaire .....	13
II.3.3.2. Le détendeur thermostatique.....	13
II.3.4. L'évaporateur .....	13
II.3.4.1. Les évaporateurs refroidisseurs d'air.....	14
II.3.4.1. Les évaporateurs refroidisseurs de liquide .....	14
Chapitre II: Les fluides frigorigènes et huiles frigorifiques.....	15
I. Classification des fluides frigorigènes.....	16
I.1. Les substances inorganiques pures .....	16
I.2. Les hydrocarbures ou composés organiques .....	16
I.3. Les hydrocarbures halogénés.....	16
I.3.1. Les chlorofluorocarbures (CFC).....	16
I.3.2. Les hydrochlorofluorocarbures (HCFC).....	17
I.3.3. Les hydrofluorocarbures (HFC) .....	17
I.4. Les autres produits.....	17
II. Codification des fluides frigorigènes .....	17
III. Les propriétés des fluides frigorigènes .....	19
IV. Les huiles frigorifiques .....	21
Chapitre III: Protection de l'environnement .....	23
I. Les impacts environnementaux .....	23
I.1. L'appauvrissement de la couche d'Ozone.....	23
I.2. Le réchauffement de la planète.....	24
II. Les accords internationaux sur l'utilisation des fluides frigorigènes.....	24
II.1. Le Protocole de Montréal relatifs aux SAO .....	25
II.2. Le Protocole de Kyoto.....	28



III. Programme National pour la protection de la couche d'Ozone .....	29
PARTIE II : .....	2
MANIPULATION DES FLUIDES FRIGORIGENES .....	
Chapitre I : Etude de calcul de la quantité de charge en fluide frigorigène d'une installation .....	33
I. Bilan frigorifique de la chambre froide .....	34
I.1. Détermination du coefficient global d'échange thermique K .....	34
I.2. Calcul des charges thermiques externes .....	36
I.2.1. Charges thermiques par transmission à travers les parois .....	36
I.2.2. Charges thermiques dues au renouvellement d'air .....	36
I.2.3. Charges thermiques par ouverture des portes .....	37
I.3. Calcul des charges thermiques internes .....	39
I.3.1. Charges thermiques dues à l'éclairage .....	39
I.3.2. Charges thermiques dues aux personnes .....	39
I.3.3. Charge thermique dues aux denrées entrantes .....	40
I.4. Charge thermique totale .....	40
I.5. Détermination des longueurs des tuyauteries .....	41
II. Calcul de la masse de fluide frigorigène à installer .....	41
II.1. Masse au niveau de l'évaporateur .....	42
II.2. Masse au niveau du compresseur .....	42
II.3. Masse au niveau du condenseur .....	43
II.4. Masse dans la ligne d'aspiration .....	43
II.5. Masse dans la ligne de refoulement .....	43
II.6. Masse dans la ligne de liquide .....	44
Chapitre II: Mise en service d'une installation .....	45
I. Contrôle d'étanchéité .....	45
II. Détection de fuites .....	45

II.1. Techniques de détection de fuites .....	45
II.1.1. Par la chute de pression.....	46
II.1.2. Par la remontée de pression .....	46
II.1.3. Par le contrôle au manomètre .....	46
II.1.4. Par un contrôle de variation de température .....	46
II.2. Les méthodes de détections de fuites .....	47
II.2.1. Lampe haloïde.....	47
II.2.2. Eau savonneuse.....	47
II.2.3. Détecteur électronique .....	48
III. Tirage au vide d'une installation.....	48
III.1. Pourquoi tirer au vide une installation? .....	48
III.2. Méthodes de tirage au vide .....	49
III.2.1. Tirage au vide .....	49
III.2.2. Cassage au vide .....	51
III.3. Durée du tirage au vide .....	52
IV. Charge en fluide frigorigène .....	53
IV.1. Techniques de charge .....	53
IV.1.1. Charge par les pressions .....	53
IV.1.2. Charge par la pesée .....	53
IV.1.3. Charge par le givrage .....	54
IV.1.4. Charge par le voyant liquide .....	54
IV.2. Modes de charge .....	54
IV.2.1. Charge en phase liquide .....	54
IV.2.2. Charge en phase vapeur .....	55
IV.3. Mode opératoire .....	55
V. Soutirage et complément d'huile .....	57
V.1. Soutirage d'huile .....	57
V.2. Complément d'huile.....	58

Chapitre III: Récupération en fluide frigorigène .....	59
I. Matériels nécessaires .....	59
II. Condition de départ.....	59
III. Méthodes de récupérations .....	60
III.1. Récupération en phase liquide .....	60
III.1.1. Transfert par gravité .....	60
III.1.2. Transfert par dépression.....	62
III.1.3. Transfert par pompe .....	63
III.2. Récupération en phase vapeur .....	65
III.2.1. Méthodes de récupération en phase vapeur .....	66
III.2.1.1. Transfert en phase vapeur par refroidissement .....	66
III.2.1.2. Transfert en phase vapeur par le compresseur .....	66
III.2.2. Mode opératoire .....	66
CONCLUSION.....	68
<b>ANNEXES .....</b>	
ANNEXE I.....	a
ANNEXE II .....	b
ANNEXE III .....	c
ANNEXE IV .....	d
ANNEXE V .....	e
ANNEXE VI.....	f
BIBLIOGRAPHIE.....	
WEBOGRAPHIE .....	
TABLE DE MATIERES .....	

**Nom** : FANOMEZAMALALA

**Prénoms** : Domoina Mirana

**Adresse** : lot C49 ter C à Andafiavaratra/ Ankadikely-Ilafy

**Téléphone** : 033 11 773 73

**E-mail** : [fdomoinamalala@yahoo.fr](mailto:fdomoinamalala@yahoo.fr)

### *Thème du mémoire*

## **« MANIPULATION DES FLUIDES FRIGORIGENES : CHARGE ET RECUPERATION »**

**Nombre de pages : 68**

**Nombre de figures : 17**

**Nombre de tableaux : 15**

### **Résumé**

Afin de bien maîtriser la manipulation des fluides frigorigènes, nous avons commencé à savoir comment calculer la quantité du fluide frigorigène à charger dans le circuit frigorifique d'un système. Ensuite, nous avons mis en évidence, les techniques de charge en fluide frigorigène. Pour cela, nous avons vu, la charge par les pressions, la charge par la pesée, la charge par le givrage, et la charge par le voyant liquide. Et pour terminer notre étude, nous avons passé aux procédés de récupération ; ainsi, nous avons su, qu'on peut récupérer le fluide frigorigène, soit en phase liquide, par un transfert par gravité, ou un transfert par dépression, ou bien un transfert par pompe. Soit en phase vapeur, par un transfert par refroidissement ou un transfert par le compresseur.

### **Abstract**

In order to control the handling of the refrigerants well, we started to know how to calculate the quantity of the refrigerant to charge in the refrigerating circuit of a system. Then, we highlighted the techniques of load in refrigerant; for that, we studied the load by the load by the pressures, the load by the weighing, the load by icing, and charges it by the liquid indicator. And to finish our study, we passed to the processes of recovery; thus, we saw that one can recover is in liquid phase, by a transfer by gravity, or a transfer by depression, or a transfer by pump. Maybe in phase vapor, by a transfer by cooling or transfer by compressor.

**Rubrique**: Froid

**Mots clés** : fluide frigorigène, charge, récupération