

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche  
scientifique  
جامعة بلحاج بوشعيب عين تموشنت  
Université Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Domaine : Technologie  
Filière : Génie Mécanique  
Spécialité : Energétique  
Thème

Etude et comparaison numérique des fluides frigorigènes utilisés pour  
les climatiseurs

**Présenté Par :**

**Le : 19/06/2022**

1) Nouali Mohammed Elamine

2) Mendil Abderrezak

**Devant les jurys composés de :**

oudad wahid

Pr

U.B.B (Ain Temouchent)

Président

Nehari Tayeb

Dr

U.B.B (Ain Temouchent)

Encadrant

Bounif Abedelhamid

Pr

U.B.B (Ain Temouchent)

Examinateur

*Année universitaire 2021/2022*

## *Remerciements*

*Tout d'abord nous commencerons par remercier dieu tout puissant, de nous avoir donné le courage, l'optimisme et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*Nous remercions nos parents pour leurs sacrifices*

*« Merci d'être ce que vous êtes »*

*Nous remercions notre enseignant : Mr NEHARI Tayeb, pour son encadrement, leur aide et surtout leur patience tout au long de l'année.*

*Merci d'avance aux membres du jury, qui nous ont honorés de leurs participations et attentions portées à notre mémoire de fin d'études*

*Enfin, nous remercions vont à tous ceux et à toutes celles, qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail avec générosité et un égard exemplaires.*

## *Dédicace*

*Remercier, c'est le plaisir de se souvenir de tous ceux qui, par leurs encouragements, leur disponibilité, leur amitié et leur compétences,*

*Je dédie ce modeste travail*

*. Un grand merci à :*

✓ *A mes très chers parents, la lumière de ma vie, pour leur amour et soutien durant toute ma vie et en particulier durant toutes mes années estudiantines ;*

✓ *A mes très chers frères Abdelhamid ; Zakaria ; Reda ; Oussama ;*

✓ *A toute ma famille Nouali ;*

✓ *A tous mes enseignants ;*

✓ *A mes chères amies Sidahmed et Youcef ;*

✓ *A tous ceux qui m'ont aidé ;*

✓ *A mes collègues de promotion Génie Mécanique énergétique 2021/2022..*

*Enfin, A Mon collègue : Abderrezak*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis Merci.*

*Nouali Mohammed*

## *Dédicace*

*Remercier, c'est le plaisir de se souvenir de tous ceux qui, par leurs encouragements, leur disponibilité, leur amitié et leur compétences,*

*Je dédie ce modeste travail*

*. Un grand merci à :*

✓ *A mes très chers parents, la lumière de ma vie, pour leur amour et soutien durant toute ma vie et en particulier durant toutes mes années estudiantines ;*

✓ *A mes très chers frères ismail ; et mes sœurs ;*

✓ *A toute ma famille Mendil ;*

✓ *A tous mes enseignants ;*

✓ *A mes chères amies Abderrahmane et ibrahim*

✓ *A tous ceux qui m'ont aidé ;*

✓ *A mes collègues de promotion Génie Mécanique énergétique 2021/2022..*

*Enfin, A Mon collègue : Mohammed*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis Merci.*

*Mendil Abderrezak*

## ***Résumé :***

Dans ce mémoire on a étudié les différents fluides réfrigérants et leurs utilisations dans le domaine de la climatisation et de la réfrigération, ainsi on a défini le climatiseur en générale, constituant, fonctions et les différents types de climatiseurs.

Ensuite, on a donné un exemple sur le mode d'emploi du système de réfrigération qui est les climatiseurs, enfin on a calculé les propriétés et les performances de certains fluides réfrigérants ainsi que leurs impacts sur l'environnement.

**Mots Clés :** *fluide frigorigène, la machine frigorifique, la climatisation, Performances, SOLKANE.*

## الملخص:

درسنا في هذه المذكرة المبردات المختلفة واستخداماتها في مجال التكييف والتبريد ،  
وبذلك حددنا المكيفات بشكل عام ومكوناتها ووظائفها وأنواعها المختلفة.  
ثم أعطينا مثالا عنها في تعليمات التشغيل الخاصة بنظام التبريد ' وأخيرا قمنا  
بحساب خصائص وأداء بعض السوائل بالإضافة إلى تأثيرها على البيئة.

## **Abstract**

In this memoir we have studied the different refrigerants and their uses in the field of air conditioning and refrigeration, thus we have defined the air conditioner in general, their constituents, these functions and the different types of air conditioners.

Then we gave an example of it on the operating instructions of the refrigeration system which is the refrigerating machine, finally we calculated the properties and performances of certain refrigerants as well as their impacts on the environment.

**Keywords:** *refrigerant, refrigerating machine, air conditioning, performance, SOLKANE.*

---

# Table de Matière

---

<b>Remerciement</b>	<b>I</b>
<b>Dédicace</b>	<b>II</b>
<b>Résumé</b>	<b>III</b>
<b>Table de matière</b>	<b>IV</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>V</b>
<b>Liste de tableaux</b>	<b>VI</b>
<b>Nomenclature</b>	<b>VIII</b>
<b>I.1 Introduction générale</b>	<b>01</b>

## **Chapitre I : Généralités sur les fluides frigorigènes**

I.1	Introduction.	04
I.2	historique Fluides frigorigènes	05
I.3	Fluide frigorigène.	06
I.3.1	Définition fluide frigorigène	05
I.3.2	Les différentes catégories de fluide frigorigène	06
I.3.3	Les types fluides frigorigènes utilisés	06
I.3.4	Classification des fluides frigorigène en group de sécurité	08



I.3.4.1	Classement de la toxicité des fluides	08
I.3.4.2	classement de l'inflammabilité des fluides	09
I.3.5	Choix du fluide frigorigène	10
I.4	Rôle du fluide frigorigène	10
I.5	Les fluides frigorigènes utilisés avant 1929.	10
I.6	Nomenclature	11
I.7	Composants principaux d'un circuit frigorifique	12
I.7.1	Le fluide frigorigène	13
I.7.2	Caractéristiques fondamentales d'un fluide frigorigène	13
I.8	Traitement des fuites	17
I.8.1	L'impact sur l'environnement	18
I.8.2	L'impact sur la santé et la sécurité des usagers	19
I.9	Conclusion	20

## **Chapitre II : Description et classification des différents types de climatiseurs**

II.1	Introduction.	22
II.2	Histoire	22
II.3	fonctionnement des climatiseurs	23

II.4	Principe de fonctionnement d'une climatisation	26
II.5	Les différents systèmes de climatisation	28
II.5.1	les systèmes tout air	28
II.5.2	Le renouvellement d'air	28
II.5.3	Les systèmes tout air neuf	28
II.5.4	Systèmes utilisés en recyclage total	29
II.5.5	Système fonctionnant en tout air neuf	29
II.6	Conditions de base	29
II.6.1	Définition des conditions extérieures	29
II. 6.2	Définition des conditions intérieures	29
II.7	Charges d'un local	30
II.7.1	Charges sensibles	30
II.7.2	Charges latentes	30
II.7.3	Charges hydriques	30
II.7.4	Charges totales	30
II.8	Composition d'un climatiseur	31
II.9	Les différents types de climatiseur	31
II.9.1	Le climatiseur monobloc	31
II.9.2	Le climatiseur réversible	32
II.9.3	Le climatiseur mobile	32
II.9.4	Le climatiseur cassette	32

II.9.5	Les modernes climatiseurs	32
--------	---------------------------	----

## **Chapitre III : Etude thermodynamique de la machine frigorifique**

III.1	Introduction.	36
III.2	évaluation des performances de la machine frigorifique	40
III.2.1	La quantité de chaleur	40
III.2.2	Calcul du débit massique	41
III.2.3	Calcul le volume réel	41
III.2.4	Calcul du rendement volumétrique	41
III.2.5	Calcul de la puissance électrique du compresseur	42
III.3	Le coefficient de performance	42

## **Chapitre IV : Résultats et discussion**

IV.1	Introduction	44
IV.2	Description du logiciel SOLKANE	44
IV.3	Les fluides frigorigènes SOLKANE	44
IV.4	Choix du fluide frigorigène	44

IV.5	Présentation des résultats de calcul du logiciel SOLKANE	46
IV.6	étude d'impact des différents fluides réfrigérants	47
IV.6.1	cas du R22	47
IV.6.2	Cas du R32	49
IV.6.3	Cas du R134a	50
IV.6.4	Cas du R143a	51
IV.6.5	Cas du R152a	53
IV.6.6	Cas du R227	54
IV.6.7	Cas du R404A	55
IV.6.8	Cas du R407A	57
IV.6.9	Cas du R410A	58
IV.6.10	Cas du R507	59
IV.7	Comparaison des performances des fluides	61
	Conclusion	67
	Référence bibliographique	69

---

# Liste des figures

---

<b>Figure I.1</b>	Schéma d'un cycle frigorifique	<b>12</b>
<b>Figure I.2</b>	Schéma d'Aspiration du gaz (Aspiration et Refoulement)	<b>14</b>
<b>Figure I.3</b>	Schéma du compresseur (Aspiration et Refoulement)	<b>15</b>
<b>Figure I.4</b>	Condenseur à air	<b>16</b>
<b>Figure I.5</b>	Détendeur type capillaire	<b>16</b>
<b>Figure I.6</b>	Evaporateur	<b>17</b>
<b>Figure II.1</b>	Exemple d'une centrale de traitement d'air	<b>26</b>
<b>Figure II.2</b>	Schéma climatisation réversible	<b>26</b>
<b>Figure II.3</b>	Schéma fonctionnement d'un climatiseur	<b>27</b>
<b>Figure II.4</b>	schéma de principe d'un climatiseur	<b>27</b>
<b>Figure III.1</b>	Schéma d'une machine frigorifique	<b>36</b>
<b>Figure III.2</b>	Schéma d'un système frigorifique	<b>36</b>
<b>Figure III.3</b>	Diagramme enthalpique du cycle frigorifique	<b>37</b>
<b>Figure III.4</b>	Fonctionnement de l'évaporateur	<b>38</b>
<b>Figure III.5</b>	Fonctionnement du compresseur	<b>39</b>
<b>Figure III.6</b>	Fonctionnement du condenseur	<b>39</b>
<b>Figure III.7</b>	Fonctionnement du détendeur	<b>40</b>
<b>Figure IV.1</b>	Liste des fluides frigorigènes SOLKANE	<b>44</b>
<b>Figure IV.2</b>	Les caractéristique thermo physiques du fluide choisis	<b>45</b>
<b>Figure IV.3</b>	Diagramme (P, h) pour le R22	<b>48</b>
<b>Figure IV.4</b>	Diagramme (P, h) pour le R32	<b>49</b>

<b>Figure IV.5</b>	Diagramme (P, h) pour le R134a	<b>50</b>
<b>Figure IV.6</b>	Diagramme (P, h) pour le R143a	<b>52</b>
<b>Figure IV.7</b>	Diagramme (P, h) pour le R152a	<b>53</b>
<b>Figure IV.8</b>	Diagramme (P, h) pour le R227	<b>54</b>
<b>Figure IV.9</b>	Diagramme (P, h) pour le R404A	<b>56</b>
<b>Figure IV.10</b>	Diagramme (P, h) pour le R407A	<b>57</b>
<b>Figure IV.11</b>	Diagramme (P, h) pour le R410A	<b>58</b>
<b>Figure IV.12</b>	Diagramme (P, h) pour le R507	<b>60</b>
<b>Figure IV.13</b>	Histogramme de consommation électrique des fluides frigorigènes	<b>62</b>
<b>Figure IV.14</b>	Histogramme du débit massique des fluides frigorigènes	<b>62</b>
<b>Figure IV.15</b>	Histogramme de la pression de refoulement des fluides frigorigènes	<b>63</b>
<b>Figure IV.16</b>	Histogramme d'aspiration du compresseur des fluides frigorigènes	<b>63</b>

---

## **Liste des tableaux**

---

<b>Tableau I.1</b>	Fluides INORGANIQUES PURS	<b>06</b>
<b>Tableau I.2</b>	FLUIDES HYDROCARBURES	<b>07</b>
<b>Tableau I.3</b>	Les critères de substitution CFC	<b>07</b>
<b>Tableau I.4</b>	Les critères de substitution HCFC	<b>07</b>
<b>Tableau I.5</b>	Les critères de substitution HFC	<b>08</b>
<b>Tableau I.6</b>	Autres fluides	<b>08</b>
<b>Tableau I.7</b>	le faible et le frottement toxique	<b>09</b>
<b>Tableau I.8</b>	COMPOSES INORGANIQUES	<b>09</b>

<b>Tableau I.9</b>	COMPOSENT ORGANIQUES (HYDROCARBURES)	<b>09</b>
<b>Tableau I.10</b>	HYDROCARBURES HALOGENES	<b>10</b>
<b>Tableau I.11</b>	Fluides frigorigènes	<b>13</b>
<b>Tableau I.12</b>	Les indices d'impact des certains fluides frigorigènes	<b>19</b>
<b>Tableau IV.1</b>	Résultats et performances des fluides frigorigènes	<b>61</b>
<b>Tableau IV.2</b>	Facteur d'impact sur la couche d'ozone(ODP) et de réchauffement climatique(GWP)	<b>64</b>

## Nomenclature:

T	Température	°C
h	Enthalpiesspécifique	Kj/kg
$\Delta h$	Variation d'enthalpie massique	Kj/kg
W	Travail	j/kg
V	Volume spécifique	m <sup>3</sup> /kg
P	Pression	K.Pascal
Cp	Capacité calorifique à P=cste,	J/kg.K
Cv	Capacité calorifique à V=cste,	J/kg.K
T <sub>con</sub>	Température de condensateur	°K
T <sub>évap</sub>	Température d'évaporateur	°K
hi	Coefficient de convection intérieur	
he	Coefficient de convection extérieur	
$\lambda$	Conductivité thermique	W/m.K
k	Coefficient de transmission thermique	W/m <sup>2</sup> .k
Pele	La puissance électrique	KW
$\eta_{vol}$	Le rendement volumetrique	
$\Phi$	Flux de chaleur	W
Wc	Travail massique du compresseur	Kj/kg
R	Resistance thermique	W/m <sup>2</sup> .k

## Abréviations

### Abréviations

HP

### Désignation

Haute pression



BP	Base pression
COP	Coefficient de performance
EER	coefficient d'efficacité frigorifique
ODP	Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone
Comp	Compresseur
GWP	Potentiel de réchauffement climatique
HCFC	HydrochloroFluro Carbon
CFC	les chlofluorocarbures
HC	Hydrocarbon
PFC	les perfluorocarbures
ODP	ozone depletion potential
GWP	global waraning potential
SO2	dioxyde de soufre
CO2	dioxyde de carbone
NH3	l'ammoniac

# INTRODUCTION GENERALE

## INTRODUCTION GENRRALE

Le froid est un terme utiliser pour indiquer un manque de chaleur, le froid est donc crée par l'absorption de la chaleur d'un corps Ou d'un espace de sorte que la température s'abaisse et soit maintenue à un valeur inférieure à celle de La température Ambiance .tout procédé utilisé pour tel transfert de chaleur est appelé procédé frigorifique. [1]

En pratique, les systèmes de réfrigération nécessitent des réfrigérants pour fonctionner, qui ont souvent des effets néfastes sur l'environnement. Les chlorofluorocarbures (CFC), ainsi que les hydrochlorofluorocarbures (HCFC), étaient considérés comme des réfrigérants « miracles » jusque dans les années 1980 en raison de leurs excellentes propriétés physiques, mais ne peuvent plus être utilisés en raison de leur capacité à détruire la couche d'ozone stratosphérique.. [2]

Les technologies de refroidissement à compression mécanique ont fait leurs preuves en termes d'efficacité et de performances énergétiques, qui sont utilisées dans nos réfrigérateurs et climatiseurs malgré les performances des réfrigérateurs à compression mécanique. Par conséquent, les compresseurs mécaniques ne sont toujours pas adaptés aux consommateurs de sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire, l'électricité consommée par ces appareils est considérée comme importante, en particulier lors du refroidissement des espaces de vie, il y a donc toujours un pic de consommation d'électricité pendant les mois d'été.

De plus, même si les fluides de remplacement (les HFC et les fluides naturels tels l'ammoniac), sont neutres vis-à-vis de la couche d'ozone, ils n'en demeurent pas moins dangereux pour notre milieu naturel : effet de serre, acidification, etc. En raison des contraintes liées à l'environnement, Il est indispensable d'évaluer l'impact des fluides réfrigérants utilisés dans le climatiseur.

D'où l'intérêt de notre étude qui porte essentiellement à évaluer les performances de 10 fluides réfrigérants pour une même puissance frigorifique. [2]

Les fluides réfrigérants étudiés sont : R22, R32, R134a, R143a, R152a, R227, R404A, R407A, R410A, R507.

Afin de cerner les différents aspects de ce problème, nous avons divisé le travail en quatre chapitres:

Le chapitre I : généralités sur les fluides frigorigènes ainsi qu'à leurs impacts sur l'environnement.

Le chapitre II: Décrit et catégorise les différents types de climatiseurs.

Le chapitre III : Explique les études thermodynamiques de la machine frigorifique.

Le chapitre IV : présente les résultats obtenus et leur discussion

Enfin, une conclusion générale et des recommandations concluent ce travail.

**CHAPITRE I**  
**GENERALITES**  
**SUR LES FLUIDE**  
**FRIGORIGENE**

## I.1 Introduction

Le fluide frigorigène est un fluide liquide ou gazeux ayant des propriétés particulières exploitées pour la production de chaleur ou de froid. Il est notamment utilisé dans les climatiseurs ou les réfrigérateurs mais aussi pompes à chaleur pour le chauffage. Depuis quelques décennies, l'impact de ces fluides sur l'environnement est devenu un enjeu majeur. Le réchauffement climatique et la destruction de la couche d'ozone sont des phénomènes liés. L'appauvrissement de la couche d'ozone ODP et l'augmentation de l'effet de serre GWP à cause des fuites au niveau du circuit frigorifique ce sont deux phénomènes différents, l'un chimique et l'autre physique, notamment les CFC et HCFC. Ils ont été remplacés par les fluides frigorigènes HFC, dont les plus courants en climatisation sont le R407C et le R410A. Les HFC présentent l'avantage d'une réelle innocuité pour la couche d'ozone et la santé des utilisateurs, tout en assurant un meilleur rendement énergétique.

L'impact sur l'environnement s'articule autour de deux indices principaux :

**ODP** : Ozone Déplétion Potentiel (influence sur la couche d'ozone)

**GWP** : Global Warming Potentiel (influence sur l'effet de serre).

En théorie, l'air ou l'azote (des fluides courants sur notre planète...) pourraient servir de réfrigérant, ainsi que tout fluide présentant un potentiel en termes de réfrigération, mais, en pratique, il en est tout autrement, car ces fluides doivent répondre aux critères suivants :

- Les fluides réfrigérants sont sélectionnés principalement pour leur grande propriété d'absorption de chaleur (calories) lorsqu'ils passent de leur phase liquide à leur phase gazeuse (la chaleur absorbée par le fluide lors du changement d'état est appelée : chaleur latente de vaporisation). Les réfrigérants sont utilisés purs ou en mélange dans les métiers du froid et de la climatisation.
- Ces fluides doivent respecter l'environnement et être inoffensifs pour l'homme (et tout être vivant) du fait du risque de fuite dans l'atmosphère.
- Ils sont également choisis en fonction des températures de fonctionnement des deux échangeurs du circuit frigorifique concerné (le condenseur et l'évaporateur). En effet, les fluides utilisés pour obtenir des basses températures sont différents des fluides de climatisation par exemple.
- Enfin, leurs pressions (qui sont fonction des températures de service des échangeurs cités ci-dessus) doivent permettre leur utilisation dans un circuit frigorifique avec un

dimensionnement raisonnable des tuyauteries et du compresseur. En effet, il ne serait pas rentable d'utiliser de l'azote pour faire de la climatisation, la pression nécessaire étant trop importante, ce qui nécessiterait des tuyaux très épais et un compresseur gigantesque [3].

## **I.2 : historique Fluides frigorigènes :**

Pour connaître le parcours, sur l'utilisation des fluides frigoprotecteurs, par rapport à la découverte des premiers cycles frigorifiques avec des fluides frigorigènes, il est essentielle d'énoncer les dates clés, de l'évolution depuis la mise en place de fluides dans la production de froid, pour aboutir de nos à l'usage de fluides frigoprotecteurs. 1835 à 1860 - Ether diéthylique qui est le premier fluide frigorigène mis en place par Jacob Perkins et James Harrison.

1862 - Charles Tellier commence les premières expériences avec l'ammoniac.

1863 - Charles Tellier lance des expériences avec éther diméthylique CH<sub>3</sub>-O-CH<sub>3</sub>

1866 - L'américain Thaddeus Sobieski Coulincourt Lowe se consacre aux premiers fluides frigoprotecteurs qui est le CO<sub>2</sub>. Mais les études ne dureront pas. 1869 à 1876 -

Installation progressive de l'ammoniac dans un cycle à compression par Charles Tellier, Beath, Francis de Coppet et surtout grâce à l'allemand Carl von Linde.

1875 – Apparition du SO<sub>2</sub> de la part de Raoul Pictet.

1878 – Arrivée du fluide frigorigène chlorure de méthyle par le français C. Vincent CH<sub>3</sub>CL. 1930 à 1980 - Les CFC (chlorofluorocarbure) puis HCFC (hydrochlorofluorocarbure) sont instaurés par Swarts puis Midgley.

1980 – Début pour les HFC (hydrofluorocarbure).

1990 - Retour du CO<sub>2</sub> par G. Lorentzen.

1995 - Arrêt de production des CFC depuis le protocole de Montréal en 1987. En raison d'une trop forte production de gaz à effet de serre.

2000 - Avec le règlement européen les CFC doivent être remplacés par les HCFC ou HFC.

2004 – les HCFC sont remplacés par les HFC.

2010 – Arrêt de l'utilisation des HCFC dans les derniers types d'installation neuves et les HCFC vierge à la maintenance.

En 2015 tous les HCFC auront dû être remplacés dans les installations frigorifiques par des HFC [4].

## **I.3 Fluide frigorigène**

### I.3.1. Définition fluide frigorigène

Les fluides frigorigènes permettent la réalisation de circuits frigorifiques. Les fluides frigorigènes sont utilisés dans les systèmes de réfrigération (climatisation, congélateurs, réfrigérateurs, etc.) [5].

### I.3.2 Les différentes catégories de fluide frigorigène

Le gaz réfrigérant a différentes catégories de molécules :

- les chlorofluorocarbures (CFC) ;
- les hydro chlorofluorocarbures (HCFC) ;
- les hydrofluorocarbures (HFC) ;
- les per fluorocarbures (PFC) ou hydrocarbures per fluorés ;
- les hydrocarbures ou composés organiques ne faisant pas partie des catégories précédemment citées ;
- les composés inorganique comme l'ammoniac. [6].

### I.3.3 Les types fluides frigorigènes utilisés

Les fluides frigorigènes sont des substances ou des mélanges de substances utilisés dans les circuits des systèmes de congélation. Exemple : chambre froide, réfrigérateur, vitrine réfrigérée. Les fluides frigorigènes se caractérisent par une très faible température d'évaporation sous pression atmosphérique. Cette propriété thermodynamique permet la génération de chaleur froide. Les liquides peuvent être divisés en quatre familles: [7].

#### a) Famille des fluides inorganiques purs

Les fluides de cette famille sont principalement composés :

- d'eau (H<sub>2</sub>O)
- d'ammoniac (NH<sub>3</sub>)
- dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

FLUIDES INORGANQUES PURS		
R717	R718	R744

Tableau. I.1 : Fluides INORGANQUES PURS [7]

#### b) Famille des Fluides Hydrocarbures :

Les fluides de cette famille peuvent être composés :



- de butane
- d'isobutane
- de propane
- de cyclopropane
- le propylène

FAMILLE DES FLUIDES HYDROCARBURES				
RC270	R290	R600	R600a	R1270

**Tableau. I.2 :** FLUIDES HYDROCARBURES [7].

**c) Famille des fluides Hydrocarbures halogénés :**

Les liquides de cette famille sont très populaires, mais sont actuellement interdits, notamment pour des raisons de toxicité environnementale.

Cette famille de fluides se divise en trois catégories qui sont les CFC, les HCFC et les HCF

**• LES CFC (Chloro-Fluor-Carbures)**

Ce sont les plus connus des hydrocarbures halogénés. Complètement substitués par le chlore ou le fluor, ces hydrocarbures ne contiennent plus d'hydrogène. Ils sont dangereux pour la couche d'ozone.

CFC				
R11	R12	R113	R115	R502

**Tableau. I.3 :** Les critères de substitution CFC [7].

**• LES HCFC (Hydro Chloro-Fluoro-Carbures)**

Il s'agit d'un hydrocarbure halogéné de deuxième génération utilisé comme réfrigérant. Ce sont des constituants chimiques formés à partir de chlore, de fluor, d'hydrogène et de carbone. Ils sont nocifs pour l'environnement et seront interdits vers 2015

HCFC								
R12	R22	R123	R12	R142b	R401A	R402A	R408A	R409A

**Tableau. I.4 :** Les critères de substitution HCFC [7].

**• LES HFC (Hydro Fluoro Carbures)**

Il s'agit de la troisième génération d'hydrocarbures halogénés utilisés en tant que fluides frigorigènes. Les HFC sont composés de fluor, d'hydrogène et de carbone. Ils ne présentent pas de danger pour la couche d'ozone, mais ils peuvent contribuer à l'effet de serre

HFC								
R32	R125	R134a	R143a	R152a	R404a	R407c	R410A	R507

**Tableau. I.5 :** Les critères de substitution HFC [7].

#### d) Famille des autres fluides

Les fluides de cette famille sont utilisés de façon très ponctuelle et rare. Ainsi on pourra trouver:

- Les éthers oxydes
- Les amines aliphatiques
- Les alcools, le méthanol et l'éthanol
- Les composés tri halogénés, fluorés chlorés et bromés (HBCFC, BCFC)

Autres fluides			
R630	R631	R12B1	R13B1

**Tableau. I.6 :** Autres fluides [7].

#### I.3.4 Classification des fluides frigorigène en group de sécurité :

Cette classification est présentée par deux caractères alphanumériques, par exemple A2 La lettre majuscule correspond à la toxicité et le chiffre à l'inflammabilité du fluide.

##### I.3.4.1 Classement de la toxite des fluides :

On distingue deux groupes A et B :

**Le groupe A :** pour lequel il n'y a pas de preuve de toxicité des fluides frigorigènes pour des concentrations inférieures ou égales à 400 ppm.

**Le groupe B :** pour lequel il y a des preuves de toxicité pour des concentrations inférieures à 400 ppm

##### I.3.4.2 classement de l'inflammabilité des fluides :

On distingue trois groupes 1, 2 et 3 :

- **Le groupe 1 :** le fluide frigorigène ne permet pas de propagation de la flamme dans

à 21°C et 101kPa.

- **Le groupe 2** : le fluide frigorigène a une limite inférieure d'inflammabilité supérieure à 0,10kg/m<sup>3</sup> à 21°C et 101kPa et une chaleur de combustion inférieure à 19 kJ/kg.

- **Le groupe 3** : le fluide frigorigène est hautement inflammable avec une limite inférieure d'inflammabilité inférieure ou égale à 0,10kg/m<sup>3</sup> à 21°C et 101kPa et une chaleur de combustion supérieure ou égale à 19 kJ/kg.

	FAIBLEMENT TOXIQUE	FROTEMENT TOXIQUE
HAUTEMENT INFLAMMABLE	<b>A3</b>	<b>B3</b>
INFLAMMABLE	<b>A2</b>	<b>B2</b>
NON INFLAMMABLE	<b>A1</b>	<b>B1</b>

**Tableau. I.7** : le faible et le frottement toxique [7].

#### COMPOSES INORGANIQUES :

R717	AMMONIAC	B2
R718	EAU	A1
R744	DIOXYDE DE CARBONE	A1

**Tableau. I.8** : COMPOSES INORGANIQUES [7].

#### COMPOSES ORGANIQUES :

##### HYDROCARBURES :

R170	ETHANE	A3
R290	PROPANE	A3
R600a	ISO BUTANE	A3

**Tableau. I.9** : COMPOSES ORGANIQUES (HYDROCARBURES) [7].

## HYDROCARBURES HALOGENES :

R11 CFC	TRICHLOROFLUOROMETHANE	A1
R12 CFC	DICHLORODIFLUOROMETHANE	A1
R22 HCFC	CHLORODIFLUOROMETHANE	A1
R141b HCFC	1,1 DICHLORO - 1 - FLUOROETHANE	A2
R142b HCFC	1 - CHLORO - 1,1 - DIFLUOROETHANE	A2
R32 HFC	DIFLUOROMETHANE	A2
R125 HFC	PENTAFLUROETHANE	A1
R134a HFC	1,1,1,2 – TETRAFLUROETHANE	A1
R143a HFC	1,1,1 - TRIFLUOROETHANE	A2
R152a HFC	1,1- DIFLUOROETHANE	A2
R502 HFC	MELANGES AZEOTROPIQUE	A1
R507 HFC	MELANGES AZEOTROPIQUE	A1
R404A HFC	MELANGES ZEOTROPIQUES	A1
R410A HFC	MELANGES ZEOTROPIQUES	A1

Tableau. I.10 : HYDROCARBURES HALOGENES [7].

**I.3.5 Choix du fluide frigorigène :**

Pour ces propriétés et pour les applications suivantes :

- 1) Est un HFC qui substitue le R-12 dans des installations neuves
- 2) Il n'affecte pas la couche d'ozone comme tout les HFC
- 3) Une grande stabilité thermique et chimique
- 4) Une baisse toxicité et il n'est pas inflammable
- 5) Excellente compatibilité avec la majorité des matériaux
- 6) Il n'est pas miscible avec les huiles traditionnelles du R-12 [8].

**I.4 Rôle du fluide frigorigène :**

Le réfrigérant transporte deux éléments dans le cycle de réfrigération:

- Les calories. Celles-ci sont captées à l'évaporateur et au niveau du compresseur. Elles sont ensuite évacuées au niveau du condenseur.
- L'huile du compresseur. Ceci est plutôt un inconvénient. En effet, l'huile du compresseur est complètement inutile pour les autres organes du circuit frigorifique [6].

**I.5 Les fluides frigorigènes utilisés avant 1929 :**

Avant 1929, les scientifiques de la congélation utilisaient des gaz majeurs pendant la première période de congélation artificielle, étaient le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) ;

- le chlorométhane (CH<sub>3</sub>Cl) ;
- le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ;
- le chloroéthane (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>Cl) ;

- l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ).

Tous ces liquides possédaient des propriétés thermodynamiques intéressantes, telles que des conduites toxiques ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_3$ ) ou inflammables  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_3$  ou à très haute pression, et comme il est nécessaire, il présente des inconvénients comme le danger pour le corps humain. Et compresseur ( $\text{CO}_2$ ) [6].

### I.6 Nomenclature :

Ce modèle de dénomination s'applique à tous les types de fluorocarbures (FC) de CFC, HCFC, HFC et PFC. La nomenclature des gaz fluorés suit le modèle type « XYZc0123b4a ». Ici, les chiffres et les lettres représentent chacun:

- XYZ : FC, CFC, HCFC, HFC ou PFC.
- c : composé cyclique.
- 0 : nombre de liaisons doubles (omis si zéro).
- 1 : nombre d'atomes de carbone - 1 (omis si zéro).
- 2 : nombre d'atomes de d'hydrogène + 1.
- 3 : nombre d'atomes de fluor.
- b4 : nombre d'atomes de chlore remplacés par des atomes de brome (omis si zéro).
- a : lettre ajoutée pour identifier les isomères.

Dans le cas où la molécule contient du brome, le gaz (toujours du CFC) s'appelle halon.

Lorsque ces substances sont utilisées en tant que fluide frigorigène, les "XYZ" est remplacé par la lettre "R", comme réfrigérant. La valeur du premier chiffre qui suit la lettre R peut prendre alors les valeurs spécifiques suivantes :

- 4 ou 5, il s'agit d'un mélange
- 6, il s'agit d'un composé organique autre que des CFC, HCFC, HFC et PFC (exemple R690 : propane)
- 7, s'il s'agit d'un composé inorganique (exemple R717 : ammoniac, R744 : dioxyde de carbone)

Quelques exemples de CFC :

- le CFC-12 est un dérivé du méthane, sans hydrogène, avec deux atomes de fluor et deux de chlore. Il a donc pour formule :  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ .
- le CFC-113 est un dérivé de l'éthane, sans hydrogène, avec trois atomes de fluor et trois de chlore. Il a donc pour formule :  $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$ .

- le CFC-13B1 (ou halon 1301 ) est un dérivé du méthane, sans hydrogène, avec trois atomes de fluor et un de brome. Il a donc pour formule :  $\text{CF}_3\text{Br}$ .

Un exemple de HCFC :

- le HCFC-22 est un dérivé du méthane , avec un atome d'hydrogène , deux atomes de fluor et un de chlore . Il a donc pour formule :  $\text{CHF}_2\text{Cl}$ .

Un exemple de HFC :

- le HFC-134a est un dérivé de l'éthane , avec deux atomes d'hydrogène et quatre de fluor. Il a donc pour formule  $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ . [9].

### I.7 Composants principaux d'un circuit frigorifique :

Pour réaliser un circuit frigorifique, il faut au moins cinq composants :

- **un fluide frigorigène** : dont on provoque les changements d'état pour qu'il prenne ou cède principalement sa chaleur latente à l'endroit voulu ;
- **Un compresseur** : dont le rôle est de fournir l'énergie mécanique au fluide frigorigène pour lui permettre d'évoluer ;
- **un condenseur** : où le fluide frigorigène se condense et cède l'énergie au milieu que l'on veut chauffer ;
- **un réducteur de pression** : souvent improprement appelé détendeur, qui permet d'abaisser le point d'ébullition du fluide frigorigène ;
- **un évaporateur** : où le fluide frigorigène s'évapore en prenant l'énergie nécessaire au milieu que l'on veut refroidir.

Après être passé dans l'évaporateur, le fluide frigorigène revient au compresseur et le cycle frigorifique recommence.

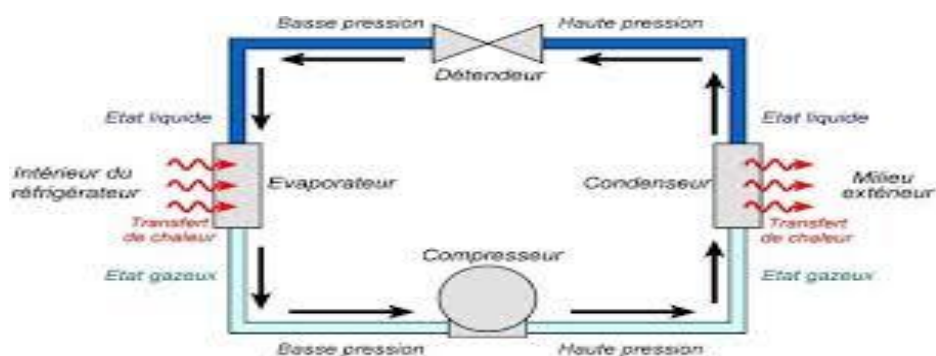


Figure I.1 : Schéma d'un cycle frigorifique [10].

#### I.7.1. Le fluide frigorigène :

Un fluide frigorigène (ou réfrigérant) est un fluide pur ou un mélange de fluides purs présents en phase liquide, en phase gazeuse ou les deux, selon sa température et sa pression. C'est un fluide caloporteur qui se vaporise dans un système de

congélation à basse température et haute pression et fournit de la chaleur par condensation à haute température et haute pression. Le rôle du fluide frigorigène est d'absorber la chaleur dans l'évaporateur et de la restituer dans le condenseur. Les fluides plus utilisés sont :

- le R 22 qui est un HCFC (hydro chlorofluorocarbone) dont l'utilisation sera interdite à compter du 1er janvier 2015 ;
- les HFC (hydrofluorocarbures), inoffensifs vis-à-vis de la couche d'ozone mais participent à l'effet de serre [10].

Fluides	Composants	Utilisation générale
R134 a	Fluide pur	Groupes de grande puissance Au-delà de 500 kW à 5 300 kW froid (vis et centrifuges)
R404 A	Mélange : R125 + 134a +143a	Agroalimentaire, froid commercial
R407 C	Mélange : R32 + R125 + 134 a	Groupes de 5 à 600 kW froid (scroll, vis, pistons)
R410 A	Mélange : R32 + R125	Climatiseurs résidentiels et tertiaires 35 à 700 kW froid (scroll)
R717	Fluide pur Ammoniac (NH <sub>3</sub> )	Réglementation sévère en France : toxicité, inflammabilité Utilisé dans l'industrie
R744	Fluide pur CO <sub>2</sub>	Utilisé dans l'industrie

**Tableau. I.11 :** Fluides frigorigènes [10].

### I.7.1.2 Caractéristiques fondamentales d'un fluide frigorigène :

Les fluides frigorigènes sont des substances générées dans les circuits du système. Grâce aux phénomènes endothermiques et exothermiques qui résultent des conversions qu'il subit, il permet à la chaleur d'être absorbée par les sources froides et restituée par les sources chaudes. Pour les substances qui agissent comme réfrigérants, il faut que:

- Son point d'ébullition soit le plus bas possible à la pression atmosphérique
- La pression de condensation ne soit pas trop élevée
- Elle ne doit attaquer ni l'huile ni les métaux du circuit frigorigène

- Elle doit être peu toxique que possible, inflammable et non explosive

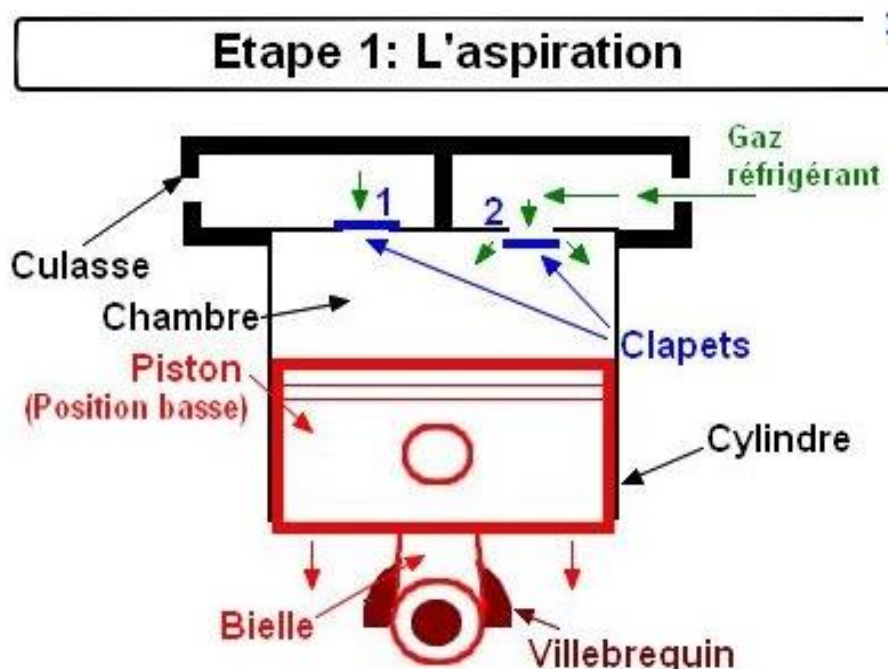
### I.7.2. Compresseur :

Un compresseur est indispensable. Sans eux, le compartiment réfrigérateur ne peut pas fonctionner. Le compresseur aspire du gaz à basse pression et basse température. L'énergie mécanique du compresseur élève la pression et la température [11].

#### Etape 1 : l'aspiration :

##### Aspiration du gaz

Vous devez inhaler du gaz ou du réfrigérant vaporisé et vous devez être vaporisé en quittant l'évaporateur. Un système d'aspiration est créé grâce au piston qui crée la dépression



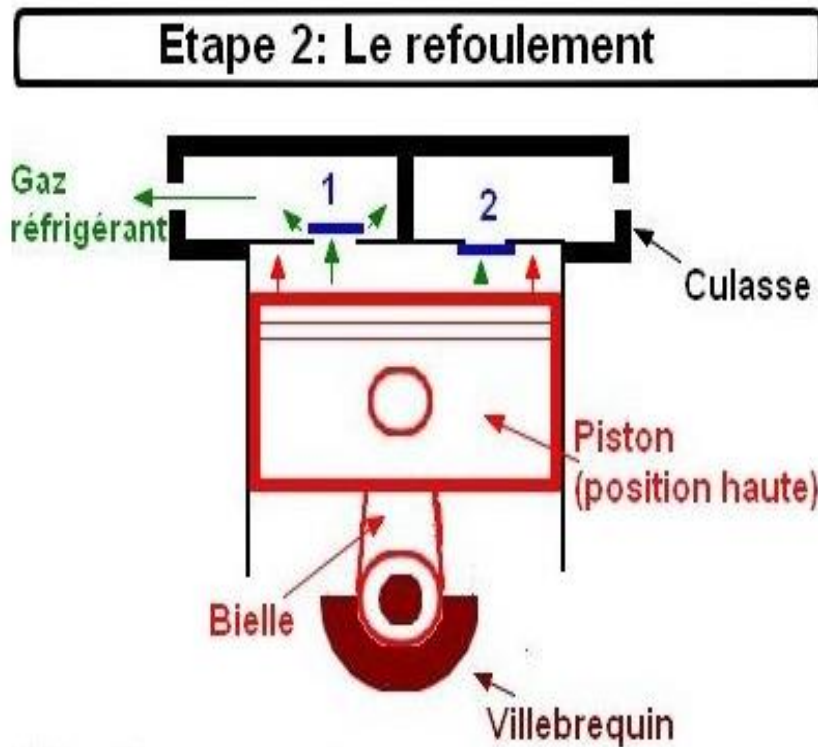
**Figure I.2 :** Schéma d'Aspiration du gaz (Aspiration et Refoulement) [11].

#### Etape 2 : le refoulement :

##### Refoulement du compresseur

Le gaz est ensuite comprimé par un piston dans une chambre avec un petit orifice de sortie, augmentant la pression du gaz. Après cela, il est envoyé à la sortie du compresseur à l'état de vapeur à une température de 70 ° C.





**Figure I.3:** Schéma du compresseur (Aspiration et Refoulement) [11].

### I.7.3. Condenseur :

Un condenseur est un échangeur de chaleur qui condense la chaleur contenue dans le fluide frigorigène gazeux du compresseur en la condensant. Cette condensation (liquéfaction) est obtenue en refroidissant le réfrigérant gazeux avec un milieu tel que l'eau ou l'air à une pression constante. Cette dissipation thermique se déroule en trois étapes:

- ✓ la désurchauffe des vapeurs de fluide frigorigène (évacuation par chaleur sensible – tronçon AB)
- ✓ la condensation des vapeurs (évacuation par chaleur latente – étape principale – tronçon BC)

Le sous refroidissement du fluide frigorigène liquide (évacuation par chaleur sensible – tronçon CD) [10].



**Figure I.4 :** Condenseur à air [10].

#### I.7.4. Détendeur :

Le détendeur réduit la pression du réfrigérant liquide du condenseur (formation d'une chute de pression) avant son introduction dans l'évaporateur, lui permettant de s'évaporer à basse température à l'intérieur de l'évaporateur. Il ajuste également la quantité de réfrigérant liquide atteignant l'évaporateur. En fonction de la demande "froid" (détendeur thermostatique uniquement). Pour détendeur capillaire (tube capillaire), débit de fluide frigorigène Le diamètre intérieur (0,6 à 1,5 mm) peut entrer dans l'évaporateur. La longueur du tuyau (1,80 à 3,50 m) et la différence de pression entre le condenseur et l'évaporateur.

Il s'agit d'un dispositif qui réduit la haute pression à la basse pression par empilement, où le réfrigérant circule à travers l'évaporateur [10].



**Figure I.5 :** Détendeur type capillaire [10].

#### I.7.5. Evaporateur :

L'évaporateur est un échangeur de chaleur dans lequel le fluide frigorigène liquide à

bas niveau de température et de pression va absorber la chaleur du milieu à refroidir (air ou eau) à pression constante devenant ainsi gazeux.

Cette absorption de chaleur s'effectue en deux étapes :

- L'évaporation du fluide frigorigène liquide (aspiration de chaleur latente – étape principale – tronçon AB)
- La surchauffe des vapeurs issues de l'évaporation du fluide frigorigène liquide (aspiration de chaleur sensible – tronçon BC)

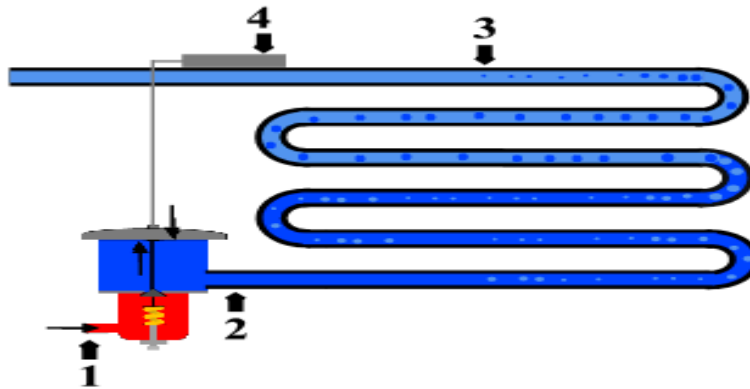


Figure I.6 : Evaporateur [10].

### I.8 Traitement des fuites:

Un kilogramme de réfrigérant synthétique s'échappant dans l'atmosphère produira l'effet de serre équivalent à l'effet de serre de l'émission de 1 000 à plus de 13 000 kilogrammes de dioxyde de carbone. Pour les autres fluides nous avons :

- 1 kg de R134a généré 1300 kg de CO<sub>2</sub>.
- 1 kg de R404A généré 3900 kg de CO<sub>2</sub>.
- 1 kg de R23 généré 11700 kg de CO<sub>2</sub>.
- 1 kg de R508 généré 12300 kg de CO<sub>2</sub>.

Les systèmes de production de congélation pour les applications de congélation ou de climatisation doivent être vérifiés régulièrement. Toute fuite détectée doit être identifiée, consignée, réparée et suivie. Tout doit être documenté et soumis à l'inspecteur des services environnementaux sur demande. L'exploitant est responsable de la quantité de réfrigérant synthétique utilisée dans son système (de climatisation). Si l'unité doit être vidangée pour réparation, le réfrigérant doit être récupéré pour être recyclé [3].

#### I.8.1 L'impact sur l'environnement :

Selon une étude réalisée en France il y a 10 ans, le taux de fuite annuel peut atteindre 30% de la quantité totale en raison du poids (ou masse) du fluide frigorigène présent dans le système de congélation des supermarchés. Pour déterminer l'effet du réfrigérant sur la couche d'ozone et l'effet de serre Trois indicateurs clés sont définis:[12].

•**ODP** : Ozone depletion potentiel (influence sur la couche d'ozone).

•**GWP** : Global warning potentiel (influence sur l'effet de serre).

•**TEWI** : total equivalent warning impact.

#### **-ODP (ozone depletion potential)**

C'est un indice qui caractérise la participation de la molécule à l'appauvrissement de la couche d'ozone.

On calcule valeur de cet indice par rapport à une molécule de référence, à savoir soit R11 ou R12 qui ont un ODP=1.

#### **-GWP (Global warning potentiel)**

C'est indice qui caractérise la participation de la molécule à l'effet de serre. On calcule la valeur de cet indice par rapport à une molécule de référence, à savoir le CO<sub>2</sub>, et pour des durées bien déterminées (20, 100, 500ans) le CO<sub>2</sub> à un GWP= 1.

#### **-TEWI (total equivalent warning impact)**

Le TEWI est un concept permettant de valoriser le réchauffement planétaire (global Warning) durant la vie opérationnelle d'un système de réfrigération. Par exemple, utilisant un fluide frigorigène déterminé en compte de l'effet direct du aux émissions de fluide frigorigène et à l'effet indirect du à l'énergie requise pour faire fonctionner le système. [12].

A titre indicatif, il est donné par la formule :

$$\text{TEWI} = (\text{GWP} * \text{L} * \text{n}) + (\text{GWP} * \text{m} [1 - \text{C}]) + (\text{n} * \text{E})$$

•GWP : global warning potentiel.

•L : émissions annuelles de fluide en kg.

•n : durée de vie du système en années.

•m : charge de récupérateur /recyclage compris entre 0 et 1.

- E : consommation annuelle d'énergie en kWh.
- $\beta$  : émission de CO<sub>2</sub> en kg/kWh.

Réfrigérant	Formule	Masse molaire	Tb	Tc	Pc	ODP	GWP
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	52.02	-	78.1	5.78	0	650
HFC-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	120.02	-	66.2	3.63	0	2800
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	102.03	-	101.1	4.06	0	1300
HFC-143a	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	84.04	-	72.9	3.78	0	3800
HFC-152a	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	66.05	-	113.3	4.52	0	140
HCFC-123	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	152.93	-	183.8	3.66	0.014	90
HCFC-124	CHClFCF <sub>3</sub>	136.48	-12	122.3	3.62	0.03	470
HCFC-22	CF <sub>2</sub> HCl	122.06	-	68.8	3.50	0.055	1700
<b>Mélanges de HFC</b>							
R-404A	R-125/143a/134a	97.6	-	72.1	3.74	0	3260
R-407A	R-	90.11	-	81.9	4.49	0	1770
R-407B	R-32/125/134a	102.94	-	74.4	4.08	0	2290
R-407C	R-32/125/134a	86.20	-	87.3	4.63	0	1530
R-407D	R-32/125/134a	90.96	-	91.6	4.48	0	1360
R-407E	R-32/125/134a	83.78	-	88.8	4.73	0	1360
R-410A	R-32/125(50/50)	72.58	-	72.5	4.95	0	1730
R-507A	R-125/143a (50/50)	98.86	-	70.9	3.79	0	3300
<b>Hydrocarbures</b>							
RC-270	CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub>	42.08	-	125.2	5.58	0	
R-290	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> (propane)	44.10	-	96.7	4.25	0	~20
R-600	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	58.12	-0.5	152	3.80	0	~20
R-600a	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub> (éthane)	30.07	-	134.7	3.64	0	~20
R-170	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> (propylène)	42.08	-	32.2	4.87	0	~20
R-1270	CH <sub>3</sub> CH=CH <sub>2</sub>		-	92.4	4.67	0	
<b>Fluides inorganiques</b>							
R-718	H <sub>2</sub> O (eau)	18.02	100	374.2	22.1	0	<1
R-744	CO <sub>2</sub> (dioxyde de carbone)	44.01	-	31.1	7.38	0	1
R-717	NH <sub>3</sub> (ammoniac)	17.03	-	132.3	11.3	0	<1

Tableau I.12 : Les indices d'impact des certains fluides frigorigènes [10].

**I.8.2 L'impact sur la santé et la sécurité des usagers :**

L'utilisation de fluides frigorigènes dans les bâtiments n'est pas sans risques pour la santé et la sécurité des occupants et des équipes de maintenance. En effet, ils peuvent représenter des risques car ils :

- Toxique comme l'ammoniac (NH<sub>3</sub>).
- Inflammabilité comme le R-290 et l'ammoniac (NH<sub>3</sub>).
- Pression utilisée dans le circuit HP (haute pression) [12].

**I.9. Conclusion :**

Dans ce chapitre ; on a passé en revue les différentes catégories de fluides réfrigérants utilisés dans le domaine de la climatisation avant et après les accords internationaux visant à réduire l'impact sur la couche d'ozone et le réchauffement climatique.

**CHAPITRE II**  
**DESCRIPTION ET**  
**CLASSIFICATION**  
**DES FIDDERENTS**  
**TYPES DE**  
**CLIMATISEURES**

## II.1 Introduction :

La climatisation est utilisée pour le confort (bureaux, habitations personnelles) ou pour des raisons techniques (laboratoires, cabinets médicaux, sites de fabrication de composants électroniques, blocs opératoires, salles informatiques).

Les principales fonctionnalités modifiées, maîtrisées ou ajustées sont :

- le degré de pollution de l'air ambiant (local à traiter) : renouvellement, soit par extraction forcée de l'air hors du local, soit par introduction forcée d'air neuf (air extérieur) dans le local, soit par renouvellement partiel de l'air ambiant pollué (adjonction d'un caisson de mélange).
- la température de l'air : modification en fonction des saisons (chauffer ou réfrigération),
- le degré d'hygrométrie de l'air traité : humidification ou déshumidification,
- la teneur en poussières de l'air : traitement par filtration de l'air soufflé ou repris,
- le maintien permanent des conditions intérieures (la régulation).

Alors que le chauffage et l'augmentation des niveaux d'humidité sont des techniques de base, le refroidissement de l'air et la déshumidification nécessitent des techniques complexes. En pratique, on discute principalement de la climatisation au regard des deux derniers objectifs.

La climatisation est essentiellement une technologie de pompe à chaleur et est de plus en plus associée au même dispositif, la "climatisation réversible" (refroidissement en été, chauffage en hiver)[13].

## II.2 Histoire :

Les climatiseurs modernes ont été inventés par Willis H. Carrier en 1902, bien que bien avant cela, à partir du 16ème siècle, des systèmes de refroidissement gratuits aient été rencontrés via l'eau du robinet, entraînant des températures de l'air plus basses. Puis dès la fin du 18ème siècle on retrouve le réseau de climatisation avec des glaçons intégrés au réseau de ventilation forcée.

La notion de confort d'été est encore bien ancienne avec des conceptions architecturales privilégiant des courants d'air et protégeant de la chaleur les zones en ensoleillement directe [13].

### Inconvénients et polémiques :

La climatisation assistée présente des avantages et des inconvénients sanitaires, mais aussi des risques pour la santé et l'environnement.



**Pour la santé :**

Les systèmes de climatisation sont accusés de provoquer les risques de santé suivants :

- Certains climatiseurs ou systèmes extérieurs de réfrigération produisent des eaux où peuvent proliférer des organismes pathogènes s'ils sont mal entretenus. L'exemple le plus cité est celui de la Légionellose. L'injection de désinfectants dans ces systèmes (produits chlorés en général) peut aussi poser des problèmes de santé, et d'apparition de pathogènes chlororésistants.
- Presque tous les systèmes de climatisation comportent des filtres, qui doivent être soit nettoyés, soit changés périodiquement, ce qui n'est pas toujours le cas.
- Une climatisation n'a de sens que dans un espace relativement « *fermé* », où divers polluants et contaminants biologiques (microbes) peuvent se concentrer, même s'ils se développent moins grâce à une moindre chaleur (dans le cas où la climatisation réfrigère l'air).
- Une climatisation excessive expose à un choc thermique lorsqu'on retourne dans l'espace non climatisé. D'après l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) il est recommandé de ne pas descendre en dessous de 26 °C et de garder une différence de température comprise entre 5 °C à 7 °C. De plus la consommation d'énergie augmente aussi avec ce différentiel.
- La transmission des virus entre différents locaux par les systèmes de climatisation a fait l'objet d'études qui ne permettaient pas, en 2009, d'apporter de conclusion définitive alors que se développait l'épidémie de grippe A (H1N1) de 2009. L'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) conseillait en 2009 : « Dans le cas des bâtiments collectifs équipés d'une centrale de traitement de l'air (climatisation centralisée), maintenir l'apport d'air extérieur et arrêter, si possible sans autre inconvénient, le recyclage. ». L'agence française estime en effet que « Dans les bâtiments équipés d'une ventilation avec recyclage de l'air (climatisations dans les immeubles de bureaux ou les bâtiments accueillant du public comme les supermarchés) le risque ne peut être exclu mais il reste difficile à évaluer car il dépend de nombreux facteurs non connus (virulence de la souche de

virus, cheminement de l'air dans les pièces et les systèmes de ventilation, etc.) ».

**Pour l'environnement :**

Les climatiseurs ont été critiqués pour les raisons suivantes :

- Elle dépense de l'énergie, augmente la consommation énergétique des bâtiments ou véhicules qui en sont équipés. L'Ademe estime à 5 % le surcoût annuel de la climatisation des automobiles (1 litre/100 km lorsqu'elle est en fonctionnement).
- La consommation énergétique est telle que par exemple la consommation électrique en été atteint et dépasse en France la consommation électrique faite en hiver, notamment depuis la canicule de 2003 qui a entraîné l'équipement d'un nombre élevé de foyers en climatiseurs. Alors que, dans un même temps, le parc énergétique Français (Notamment Nucléaire) ne peut fournir toute l'énergie car devant fonctionner à régime réduit à cause des difficultés de réfrigération rencontrées.
- Elle fait souvent appel à des dispositifs frigorigènes utilisant des gaz à effet de serre (HFC dont le pouvoir en termes d'effet de serre est 2 000 fois plus fort que celui du CO<sub>2</sub>), et dont une partie s'échappe inévitablement dans l'atmosphère (accidents, fuites, mauvaise gestion de la fin de vie du matériel). Toujours selon l'Ademe, cet effet équivaut à une augmentation de 10 % de l'impact d'un véhicule sur l'effet de serre.
- Trop de climatiseurs fuient. Les ruptures de circuit de climatisation de maisons, hôtels et lieux publics sont fréquentes dans les pays très chauds en raison des chocs thermiques. 50 % des fluides frigorigènes vendus le sont pour compenser des fuites. Les fuites sont fréquentes sur les véhicules (deux bouchons sont destinés à compenser les pertes du circuit), et on trouve dans les garages des publicités pour des recharges de gaz fréon ou mélange gaz-lubrifiant).
- Le circuit de la récupération/recyclage des gaz dans les appareils et véhicules en fin de vie reste opaque.
- Enfin, la climatisation par un gaz pourrait souvent être remplacée par une climatisation mécanique, des bâtiments ou véhicules mieux conçus (isolation, pare-soleil), et des dispositifs plus "naturels" utilisés par exemple par

l'architecture bioclimatique (murs épais à inertie thermique élevée, puits provençal, etc.).

### II.3 fonctionnement des climatiseurs :

Le climatiseur permet de maintenir l'air dans une pièce, une chambre ou une enceinte fermée, dans des conditions de température et d'humidité. La climatisation est utilisée pour maintenir l'air dans la pièce, dans la pièce ou dans une enceinte fermée, dans des conditions de température et d'humidité appropriées. En général, climatiseur est le terme associé à un appareil produisant du froid et également du chaud dans le cas d'un climatiseur réversible [14].

Il existe dans le domaine du génie climatique plusieurs types de systèmes que l'on peut classer en trois catégories :

- La centrale unie zone.
- Les centrales multizones.
- Les systèmes autonomes, triomes.

Il existe plusieurs solutions techniques pour renouveler l'air de la pièce:

1. L'air frais (conditions extérieures) est mélangé avec une partie de l'air de retour Local via une boîte de mélange.
2. L'air neuf est préparé aux conditions spécifiques du local (température, hygrométrie) par une autre centrale, appelé généralement centrale de traitement d'air neuf, comme indiqué sur le schéma suivant :

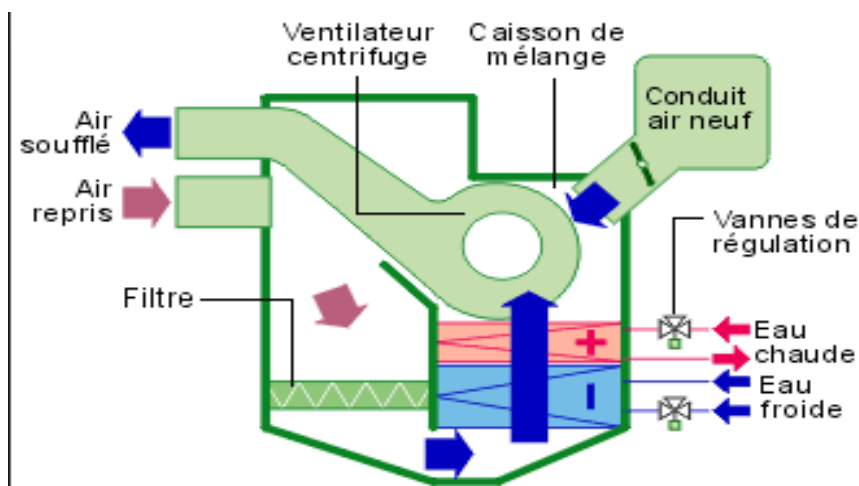
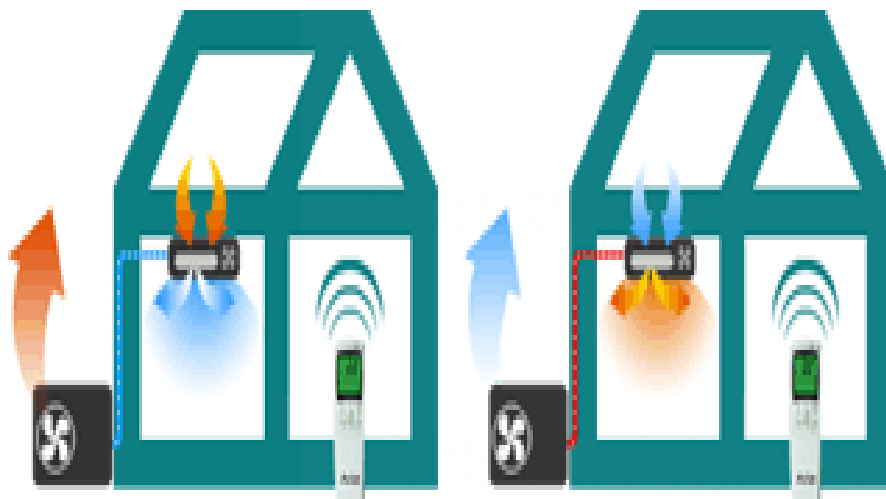


Figure II.1 : Exemple d'une centrale de traitement d'air [14].

#### II.4 Principe de fonctionnement d'une climatisation :

Le climatiseur fonctionne comme un réfrigérateur. D'un côté il produit de l'air froid, de l'autre (comme le dos d'un réfrigérateur) il dissipe de la chaleur. Dans votre réfrigérateur, le compresseur « comprime » un fluide dit réfrigérant, qui a la capacité de transférer de l'énergie frigorifique et thermique par son changement d'état biphasique (liquide et gazeux). Votre climatiseur est un peu comme votre réfrigérateur, si l'on considère que la pièce à climatiser est l'intérieur du réfrigérateur et que la chaleur dégagée par l'arrière du réfrigérateur (au niveau de votre climatiseur) est évacuée vers l'extérieur. [15].



**Figure II.2 :** Schéma climatisation réversible [15].

En réalité, on ne fait pas de froid à proprement parler : on extrait les calories de la pièce à climatiser dehors quand l'appareil est en mode climatisation. Et l'on fait exactement le contraire quand le climatiseur est en mode chaud : c'est à dire que l'on injecte des calories à l'intérieur de la pièce à chauffer.

Pour arriver techniquement à réaliser ce procédé, une vanne dite d'inversion de cycle est placée sur le circuit frigorifique à l'intérieur du groupe extérieur.

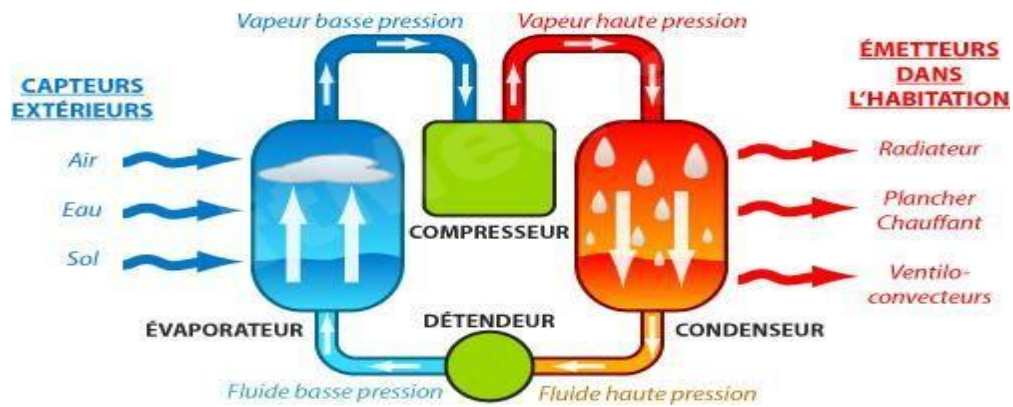


Figure II.3 : Schéma fonctionnement d'un climatiseur [16].

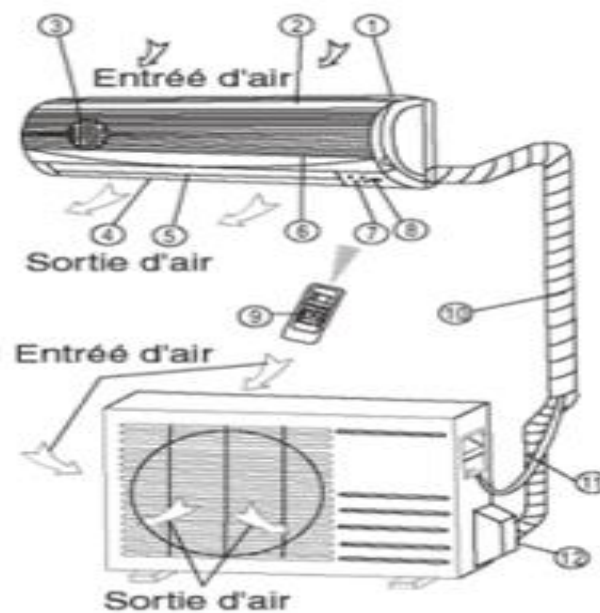


Figure II.4 : schéma de principe d'un climatiseur [16].

1. Châssis + panneau + platine de support
2. Façade avant de reprise d'air
3. Aspiration et filtration de l'air
4. Soufflage
5. Ailettes orientables du soufflage d'air

6. Sonde de température (ambiance )
7. Affichage température
8. Récepteur infrarouge
9. Télécommande
10. Tuyauterie entre l'unité intérieure du climatiseur et le groupe extérieur  
(Liaisons cuivre aller/retour du Gaz + interconnexion électrique + isolant thermique)
11. Câble d'alimentation
12. Vannes de services

Un tuyau cannelé d'évacuation des condensats produite par condensation de l'air chaud sur l'unité intérieure en mode froid doit être raccordé sur l'unité intérieure. En été, un climatiseur peut produire jusqu'à 3 litres d'eau / Heure.

### **II.5 Les différents systèmes de climatisation :**

Dans le domaine du génie climatique, il existe plusieurs types de systèmes que l'on peut répartir en trois catégories.

#### **II.5.1 les systèmes tout air :**

- les centrales unizones,
- les centrales multizones,
- les systèmes autonomes.

#### **II.5.2 Le renouvellement d'air :**

Il existe plusieurs solutions techniques pour renouveler l'air de la pièce:

1. L'air neuf est mélangé aux conditions extérieures, avec une partie de l'air repris du local par le biais d'un caisson de mélange ,
2. L'air neuf est préparé aux conditions spécifiques du local (température, hygrométrie) par une autre centrale, appelé généralement centrale de traitement d'air neuf [17].

#### **II.5.3 Les systèmes tout air neuf :**

Dans ce type de système, la pression interne s'élève légèrement par rapport à la pression atmosphérique pour éviter que l'air extérieur ne contamine l'air intérieur. L'intérêt du caisson de mélange est de réaliser d'importantes économies d'énergie (respect de l'environnement).

On a donc dans ce cas un débit massique d'air soufflé supérieur au débit massique d'air repris.

Ce type de procédé est couramment utilisé dans les bureaux et les cinémas, ...

#### **II.5.4 Systèmes utilisés en recyclage total :**

Dans ce type de procédé, le renouvellement de l'air neuf sera obtenu grâce à un système de ventilation mécanique contrôlée, soit le brassage d'air se fera directement dans le local, soit l'air neuf se fera dans la centrale dite "centrale d'air neuf". Cet air est soufflé directement aux conditions intérieures de la pièce. Le circuit d'air frais spécial assure le renouvellement de l'air frais et le débit d'air extrait est égal au débit d'air frais fourni [17].

### **II.5.5 Système fonctionnant en tout air neuf :**

Il n'y a pas de recyclage de l'air intérieur dans ce type de procédé. Selon le type de pièce, celle-ci peut être en surpression (bloc opératoire, laboratoire pharmaceutique, etc.) ou en pression atmosphérique pour éviter la pollution de l'air.

L'inconvénient de ce type d'installation est qu'elle n'est pas très économique car elle produit une puissance calorifique très élevée. Cependant, des unités de récupération de chaleur (comme avec des panneaux) peuvent être installées dans ces systèmes pour réduire les coûts énergétiques [17].

### **II.6 Conditions de base :**

Dans les cours et les environnements fermés ou mal ventilés, les climatiseurs peuvent créer des poches de chaleur autonomes par temps chaud, contribuant au phénomène d'îlot de chaleur urbain.

Avant d'installer un climatiseur, il est important de définir les conditions de température et d'humidité intérieures et extérieures.

#### **II.6.1 Définition des conditions extérieures :**

Ces valeurs dépendent de la période de l'année et de l'emplacement géographique où se trouve l'installation climatisée. Les données météorologiques déjà classées vous permettront de modifier les mesures de température et d'humidité du bulbe sec. Ces données nous permettent de calculer la charge maximale pour combattre dans nos locaux [17].

#### **II.6.2 Définition des conditions intérieures :**

La température et l'humidité de la pièce varient en fonction du type de pièce :

- Pour les pièces telles que les maisons familiales, les bureaux et les grands magasins (climatiseurs dits « de confort »), la température et l'hygrométrie varient d'une saison à l'autre.
- Pour les bâtiments industriels, la température et l'humidité dépendent de l'utilisation du bâtiment. Ils peuvent être maintenus constants toute l'année (ex : salle informatique) [17].

## II.7 Charges d'un local :

Lors de l'examen d'un projet de climatisation, il est important de considérer à l'avance la charge que l'unité doit supporter afin de bien dimensionner l'unité de climatisation. Il faut tenir compte des charges dites sensibles et des charges dites potentielles.

### II.7.1 Charges sensibles :

Les charges perceptibles de l'extérieur sont positives en été (par exemple, en raison de la lumière du soleil) et négatives en hiver (en raison des pertes). Les charges sensibles provenant de l'intérieur de la pièce sortent principalement:

- des occupants,
- des machines à l'intérieur du local,
- de l'éclairage.

### II.7.2 Charges latentes :

L'augmentation de la chaleur latente (libération d'eau sous forme de vapeur d'eau) est principalement:

- des locaux (comme les piscines par exemple),
- du matériel à l'intérieur des locaux,
- des occupants (odeurs et de humidité).

### II.7.3 Charges hydriques :

La relation mathématique suivante donne les charges hydriques nommé  $[\phi L]$  :

- $\phi L = M \times L_v$  [kW]
  - $M$  = masse d'eau dégagée par heure
  - $L_v$  = chaleur latente de vaporisation de l'eau.

### II.7.4 Charges totales :

Les charges totales sont la somme algébrique des charges sensibles et latentes nommé ' $[\phi T]$ .' Elle peut être positive ou négative et est donnée par la relation mathématique suivante :

$$\phi T = \phi S + \phi L \text{ [kW]}$$

## II.8 Composition d'un climatiseur :

Il existe aujourd'hui différents types de climatiseurs sur le marché. Ainsi, comme son nom l'indique, un climatiseur intégré se compose d'un boîtier qui abrite tous les



composants. La plupart d'entre eux ne sont pas fixés au mur car ils sont mobiles. Contrairement à ces modèles, les climatiseurs split sont constitués de deux sous-ensembles. Le raccordement frigorifique relie alors le groupe de condensation à la centrale de traitement d'air. Le premier est installé à l'extérieur de la résidence et le second est installé à l'intérieur. D'une manière générale, la composition du climatiseur est la suivante:

1. 46 % de métaux ferreux ;
2. 18 % de cuivre ;
3. 18 % de plastique ;
4. 9 % d'aluminium ;
5. et 3 % de cartes électroniques.

Les 6 % restants représentent notamment le gaz réfrigérant [18].

## **II.9 Les différents types de climatiseur :**

Les systèmes de climatisation, également appelés pompes à chaleur air/air, sont très souvent utilisés à la maison pour rafraîchir l'été et chauffer l'hiver. Trouver un chemin n'est pas toujours facile en raison de la variété des offres et des nombreuses particularités. Tour d'horizon des différents types de climatiseurs sur le marché [19].

### **II.9.1 Le climatiseur monobloc :**

Est le moins cher de tous et le plus facile à installer. Il est constitué d'une seule unité à placer à l'intérieur de votre habitation. Même s'il est facile à vivre, il reste moins performant qu'un climatiseur split. Il est idéal pour chauffer une surface inférieure à 30 m<sup>2</sup>.

### **II.9.2 Le climatiseur réversible :**

Est un climatiseur qui est doté d'un mode froid et d'un mode chaud. Il est très pratique car cet appareil 2 en 1 permet de gagner de la place et d'économiser sur le prix du matériel. Il se décline en version monobloc ou split. Il peut aussi être mobile dans certains cas. Le climatiseur réversible ne peut cependant remplacer votre système de chauffage et vient en complément d'une autre source de chaleur.

### **II.9.3 Le climatiseur mobile :**

Est le moins cher du marché. Il est conçu pour un usage ponctuel car ses performances sont réduites. Généralement sur roulettes ou à poser directement sur le sol, il vous suit dans toutes les pièces de la maison.

#### II.9.4 Le climatiseur cassette :

Est un climatiseur split dont l'unité intérieure s'insère directement dans un faux-plafond. Il est très discret et permet de climatiser des surfaces allant de 40 à 150 m<sup>2</sup>. Il est idéal pour les magasins et les bureaux. Le climatiseur cassette est presque toujours réversible pour assurer un confort thermique optimal [19].

#### II.9.5 Les modernes climatiseurs :

Présentation de certains anciens modèles de climatiseurs monoblocs et mobiles, ainsi que de climatiseurs à cassette et réversibles:



**Le climatiseur monobloc**

#### La classe LG



**Capacité 9000BTU= (157.95KW)**



**Capacité 12000 BTU= (210.6KW)**



**Capacité 18000 BTU= (315.9KW)**



**Capacité 24000 BTU= (421.2KW)**

### **La classes Samsung**



**Capacité 9000 BTU= (157.9KW)**



**Capacité 12000BTU= (210.6KW)**



**Capacité 18000BTU= (315.6KW)**



**Capacité 24000 BTU= (421.2KW)**

**La classe BEKO**



**Capacité 9000 BTU=(157.9KW)**



**Capacité 12000 BTU= (210.6KW)**

# CHAPITRE III

ETUDE

THERMODYNAMIQUE

DE LA MACHINE

FRIGORIFIQUE

### III.1 Introduction

Un refroidisseur est une machine thermodynamique qui peut consommer de l'énergie et transférer de la chaleur d'un milieu à basse température ( $T_f$ ) appelé source de chaleur à un milieu à haute température ( $T_c$ ) appelé source de chaleur. Les changements d'état du fluide frigorigène circulant dans le circuit fermé de ce système provoquent un transfert de chaleur entre les deux sources de chaleur. [20].

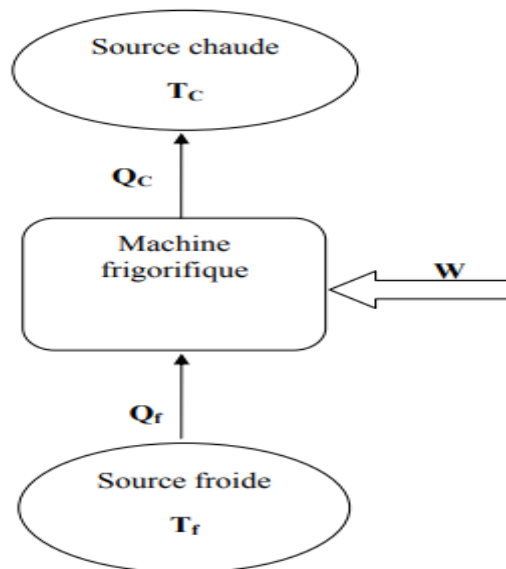


Figure III.1 : Schéma d'une machine frigorifique [20].

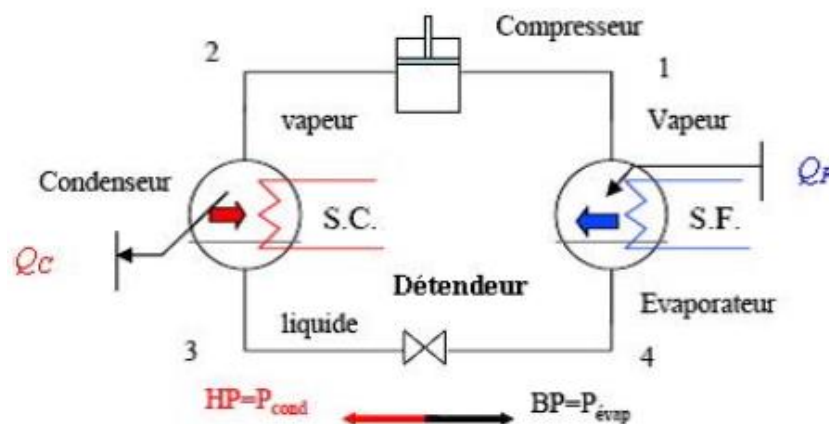


Figure III.2 : Schéma d'un système frigorifique [20].

Un tel cycle est composé des quatre étapes suivantes :

1→2 Le compresseur comprime le gaz frigorigène et élève donc sa pression et sa température.

2→3 En passant dans le condenseur, le gaz frigorigène réchauffé, cède une partie de ses calories au milieu chaud (dont la température est moins élevée) et se transforme au fur et à mesure en liquide.

3→4 Le détendeur fait baisser la pression et donc la température du fluide.

4→1 En passant dans l'évaporateur, sa température étant plus basse que celle du milieu froid, le fluide en capte les calories, se transforme progressivement en vapeur et le cycle recommence.

Le système frigorifique à compression de vapeur le plus courant fonctionne grâce à un frigorigène situé dans un circuit fermé, comprenant un compresseur, un condenseur, un organe de détente, un évaporateur et des tuyauteries de raccordement.

La vapeur du frigorigène comprimée à haute pression est condensée à haute température dans le condenseur par transfert de chaleur ( $Q_c$ ) vers le milieu environnant.

La pression du fluide frigorigène à l'état liquide est réduite dans le détendeur. A basse pression et basse température, le frigorigène se vaporise, ce qui permet d'extraire la chaleur ( $Q_f$ ) de la substance à refroidir. Pour compléter le cycle, à la sortie de l'évaporateur, la vapeur du frigorigène à basse pression est comprimée et portée à haute pression par le compresseur.

La chaleur totale rejetée au niveau du condenseur correspond à la somme de la chaleur extraite à l'évaporateur et de l'énergie ( $W_c$ ) consommée par le compresseur.

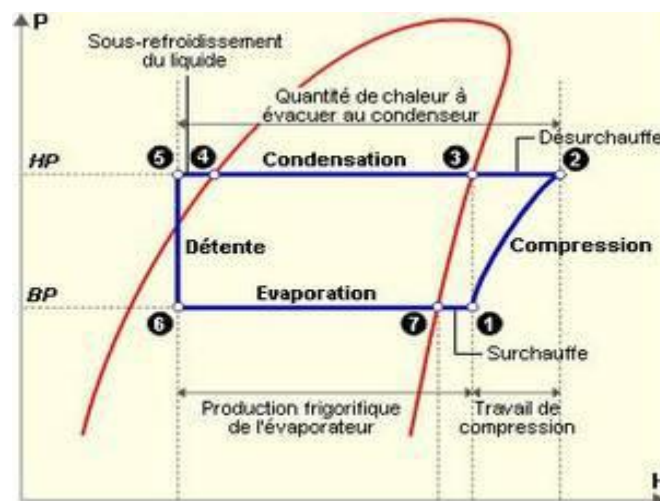


Figure III.3 : Diagramme enthalpique du cycle frigorifique [1].

Elle restitue, en outre, à la source chaude ( $Q_c$ ) en quantité équivalente au travail absorbé et à la quantité de chaleur retirée à la source froide.

$$Q_c \approx Q_f + W$$

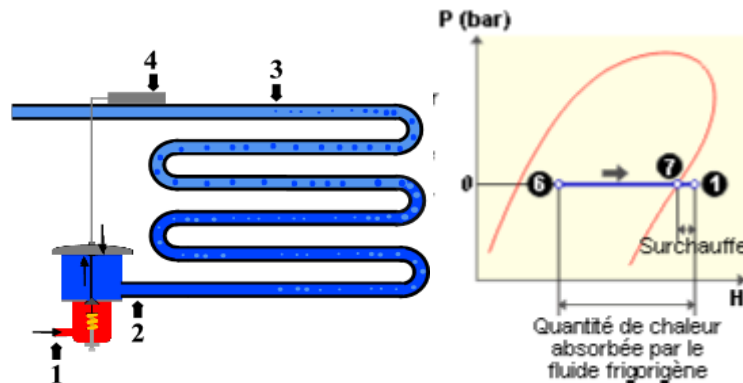
Le rendement thermique ou coefficient de production frigorifique de la machine appelé aussi coefficient de performance, est défini par le rapport de la quantité de chaleur enlevée à la source froide au travail consommé par le cycle.

$$\text{COP} = \frac{Q_f}{W} = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f}$$

Si la machine fonctionnait réversiblement on aurait

$$\text{COP}_{\text{rév}} = \frac{-1}{Q_c/Q_f + 1}$$

**Dans l'évaporateur :**



**Figure III.4 :** Fonctionnement de l'évaporateur [1].

**Repère 1 :** le liquide frigorigène arrive au détendeur en liquide sous-refroidi.

**Repère 2 :** le liquide se détend et se vaporise par abaissement brusque de la pression.

**Repère 2 et 3 :** au fur et à mesure de l'avancement du fluide dans l'évaporateur, celui-ci change d'état par échange avec l'air (ou l'eau, la saumure, etc.).

**Repère 3 :** nous sommes à ce point à 100 % de vapeur.

**Repère 3 et 4 :** c'est la zone de la surchauffe qui rappelons-le se mesure en prenant la différence de température prise au thermomètre entre le repère 4 et la pression d'aspiration du compresseur traduite en degrés. (la surchauffe est comprise entre 5 et 7 degrés suivant les applications) [1].

**Bilan énergétiques de l'évaporateur :**

$$Q_{ev} = (m_{ev}) * (\Delta h_{ev})$$

Ou :



$m_{ev}$ : le débit massique du fluide frigorigène.

$\Delta h_e$ : la variation de l'enthalpie du fluide au niveau de l'évaporateur.

$$\Delta h_e = h_1 - h_6$$

Dans le compresseur :

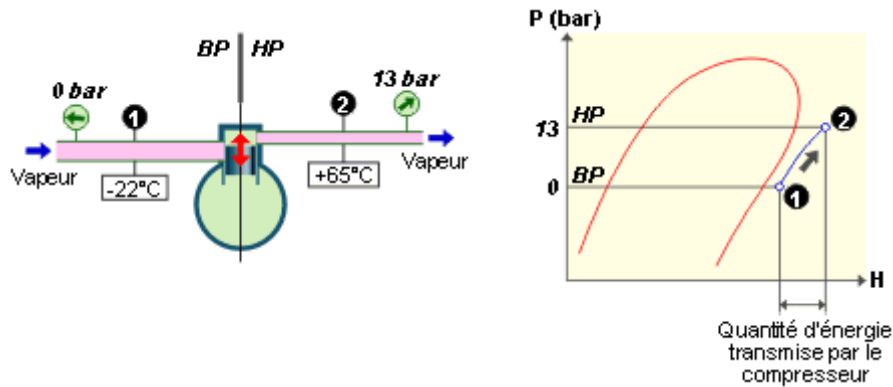


Figure III.5 : Fonctionnement du compresseur [1].

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

La quantité de chaleur transmise par le compresseur est :

$$\Delta h_c = h_2 - h_1$$

Dans le condenseur :

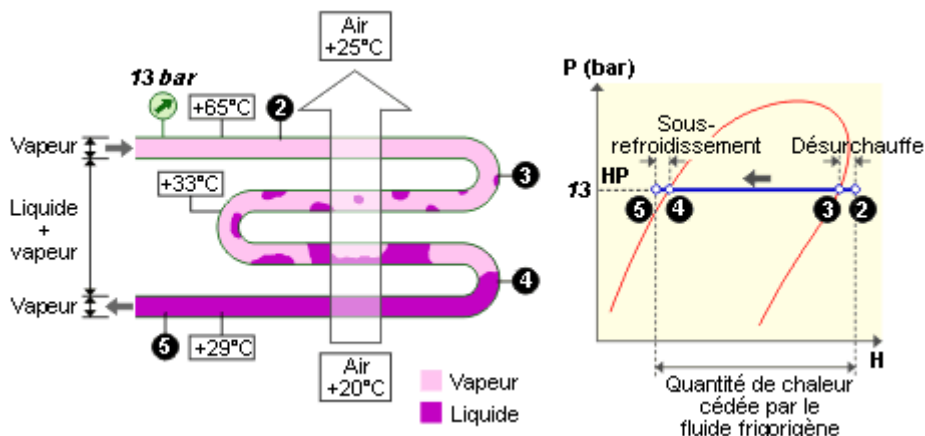


Figure III.6 : Fonctionnement du condenseur [1].

Les vapeurs de fluide frigorigène se refroidissent ("désurchauffe"), avant l'apparition de la première goutte de liquide (point 3). Puis la condensation s'effectue jusqu'à la disparition de la dernière bulle de vapeur (point 4). Le fluide liquide peut

alors se refroidir de quelques degrés (sous-refroidissement) avant de quitter le condenseur.

### Bilan énergétique de condenseur :

$$Q_{\text{con}} = m_c * \Delta h_{\text{cond}}$$

La quantité de chaleur cédée par le fluide frigorigène est

$$\Delta h_c = h_4 - h_2.$$

### Dans le détendeur :

La différence de pression entre le condenseur et l'évaporateur nécessite l'installation d'un « réducteur de pression » dans le circuit. C'est le rôle de l'agence de régulation. Le réfrigérant s'évapore partiellement au niveau du détendeur, abaissant la température.

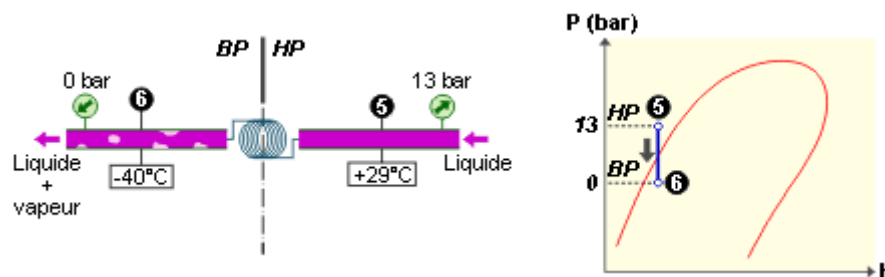


Figure III.7 : Fonctionnement du détendeur [1].

La différence de pression abaisser par le détendeur est :

$$\Delta p_d = \frac{HP}{BP}$$

## III.2 évaluation des performances de la machine frigorifique :

### III.2.1 La quantité de chaleur :

La quantité de chaleur à fournir ou à soustraire à un corps est proportionnelle à La masse du corps

- La variation de température qu'il a subie
- Sa chaleur massique

D'où la formule générale donnant la quantité de chaleur échangée

$$Q = C * M * \Delta \Phi$$

Un corps (ou une substance) peut recevoir ou fournir de la chaleur sous deux formes différentes.

#### • Sous forme sensible :

L'absorption de chaleur sous cette forme se manifeste par une élévation de la

température du corps récepteur; ou bien, au contraire, fourni de la chaleur sa température s'abaisse.

Absorption ou fourniture de chaleur ne provoquent pas de modification d'état physique du corps, et la variation de température est fonction de la quantité de chaleur échangée et d'une caractéristique physique propre à chaque corps: sa chaleur massique.

• **Sous forme latente :**

L'absorption de chaleur par un corps sous cette forme ou la fourniture de chaleur par ce corps se caractérise par une constance de la température du corps et par son changement d'état physique.

**III.2.2 Calcul du débit massique :**

Un débit permet de mesurer le flux d'une quantité relative à une unité de temps au travers d'une surface quelconque .

**III.2.3 Calcul le volume réel :**

On désigne par cylindrée le volume balayé par le piston entre ses deux positions extrêmes, et par espace mort, le volume minimal de l'enceinte de compression. Dans les réalisations courantes,  $e$  est de l'ordre de 3 à 5 %.

Donc, le volume réel à aspirer par le compresseur est de

$$\text{Volume réel} = \text{débit massique} \cdot \text{volume massique aspiration} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

**III.2.4 Calcul du rendement volumétrique :**

D'une manière générale, on définit le rendement d'une détente ou d'une compression irréversible par la comparaison de la transformation considérée avec une transformation réversible partant du même état initial et aboutissant à la même pression finale .

Donc le rendement volumétrique du compresseur est :

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - \varepsilon_v \cdot \frac{HP}{BP}$$

Telle que :  $\varepsilon = 0.05$

**III.2.5 Calcul de la puissance électrique du compresseur:**

En matière de puissance et d'efficacité, on parlera de puissance absorbée. C'est le cas des pompes à chaleur et de leur COP ou coefficient de performance.

La puissance électrique absorbée par le compresseur se transforme pour donner une puissance de chauffage 3 fois plus grande avec un COP de 3.

Donc La puissance électrique du moteur du compresseur est donnée par la relation :

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \text{débit}_{\text{massique}} * \Delta h_{\text{compresseur}}$$

**III.3 Le coefficient de performance :**

Le COP est défini par la relation suivante :

$$\text{COP} = \frac{Q_f \text{ [kJ/kg]}}{W \text{ [kJ/kg]}}$$

Où Q est la chaleur utile à l'échangeur et W est le travail mécanique absorbé par le compresseur. Chaleur et travail étant des énergies, exprimées en joules, le COP est sans unité.

Le COP est ainsi une efficacité énergétique, dans laquelle le système étudié se situe à la sortie du moteur du compresseur (source chaude) : seule l'efficacité du circuit frigorifique est prise en compte [15].

**CHAPITRE IV**  
**RESULTATS ET**  
**DISCUSSION**

## RESULTATS ET DISCUSSION

### IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les performances de certains fluides réfrigérants ainsi que leurs impacts sur l'environnement. Les fluides réfrigérants étudiés sont au nombre de 10 à savoir : R22, R32, R134a, R143a, R152a, R227, R404A , R407A , R410A , R507.

Pour cela un logiciel de commerce SOLKANE développé par l'entreprise allemande Solvay fluor Gmbh Hanover a été utilisé.

Les résultats ainsi obtenus sont présentés sous formes de tableau et de graphes.

### IV.2 Description du logiciel SOLKANE :

SOLKANE Réfrigérants est un puissant programme de calcul de propriétés thermo physiques. Il calcule les données de substance thermodynamique et les propriété de transport de tous les réfrigérants SOLKANE, ainsi que d'autres CFC. Il contient des modules pour le calcul d'un total de 7 différents processus à un et deux cycles, de dimensionnement du réseau de tuyaux pour le réfrigérant.

Il affiche les diagrammes p-h ou T-s des fluides frigorigènes et assure dans une fenêtre d'aide de Windows, une information complète sur les fluides frigorigènes SOLKANE depuis les propriétés physiques jusqu'au transport et à la garniture.

### IV.3 Les fluides frigorigènes SOLKANE :

Les fluides frigorigènes existants dans ce logiciel sont :

R22	R23	R32	R123	R124	R125	R134a
R143a	R152a	R227	R365mfc	R404A	R407A	
R407C	R409A	R410A	R507	SES36	S22L	
S22M	R11	R12	R502	R13B1	?	

Figure IV.1 : Liste des fluides frigorigènes SOLKANE [22].

### IV.4 Choix du fluide frigorigène :

Il existe plusieurs méthodes pour choisir le fluide frigorigène pour calculer des propriétés des substances et des procédés cycliques.

#### Méthode 1 : par activation du bouton gauche de la souris

Le nom du fluide frigorigène dont vous avez besoin (par ex. R134a) on a :

The screenshot displays the SOLKANE 134a software interface. At the top, the refrigerant name 'SOLKANE® 134a' is shown with its logo. To the right, physical properties are listed:  $t_c = 101,06 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $p_c = 40,59 \text{ bar}$ , and  $v_c = 1,954 \text{ dm}^3/\text{kg}$ . Below this, three main sections are visible: 'Evaporateur', 'Liquéfacteur', and 'Compresseur'. Each section contains input fields for temperature, superheat, subcooling, and pressure drop, along with a 'Calcul' button. The 'Compresseur' section also includes a field for isentropic efficiency (0,800) and an 'Auto' checkbox. At the bottom, there are tabs for 'Cycle (F2)', 'Paramètres de sortie (F3)', 'COP, Débit massique, etc. (F4)', and 'Dimensionnement des tuyaux (F5)'. A list of cycles is shown on the left, with 'cycle 1' selected. On the right, a schematic diagram of a refrigeration cycle is displayed, showing a compressor (1), condenser (2), expansion valve (3), and evaporator (4) connected in a loop. A 'Conduite d'aspiration de gaz' section shows zero values for superheat, pressure drop, and refrigeration. A 'Conduite de refoulement de' section also shows zero values for subcooling and pressure drop. At the bottom left, there is a note: 'Processus à un niveau Press (F1) for more help'.

Figure IV.2 : Les caractéristique thermo physiques du fluide choisis [22].

### Méthode 2 : à l'aide du menu principal

SOLKANE® 22

R23

R123

SOLKANE® 134a

SOLKANE® 227

SOLKANE® 404A

SOLKANE® 407A

SOLKANE® 407C

SOLKANE® 410A

SOLKANE® 507

R32

R125

R143a

R152a

R124

SOLKANE® 365mfc

Solkatherm® SES36

SOLKANE® 22L

SOLKANE® 22M

### Méthode 3 :

On Sélectionne le fluide frigorigène dont on a besoin à partir de la liste de fenêtres dans le menu ‘fenêtre, pour cela une fenêtre doit déjà être ouverte.






### Méthode 4 :

En Double-clique sur le symbole (fenêtre réduite) pour le fluide frigorigène dont on a besoin (bouton gauche de la souris), pour ce faire, une fenêtre doit déjà être ouverte.



## IV.5 Présentation des résultats de calcul du logiciel SOLKANE :

Les résultats issus du logiciel solkane peuvent s’afficher différemment en disposant les fenêtres en mode mosaïque ou en mode cascade. Les propriétés thermo physiques du fluide réfrigérant choisi peuvent être exporté et stockées sur un fichier (Excel).

Pour le calcul des points particuliers du cycle, on dispose des outils de calcul suivants :

Point singulier		Calcule les points d’état singuliers. Les points calculés dépendent des options complémentaires : vapeur humide ‘ou ‘surchauffée’, données de ‘pression’ ou ‘température. introduites.
Table		Calcule les propriétés thermodynamiques spécifiées ou elles sont présentées sous forme de table.
Vapeur humide		Permet d’entrer paramètres de la substance en état saturé‘ (liquide à ébullition et vapeur saturée) pour calculer les points singuliers ou propriétés thermodynamiques.
Surchauffe		Permet d’entrer paramètres de la vapeur surchauffée‘ (état gazeux) pour calculer le point singulier ou les propriétés thermodynamiques.
Cycle		Permet d’Ouvrir une fenêtre pour le calcul des procédés cycliques



Propriétés		Permet d 'Ouvrir la boîte de dialogue pour choisir les paramètres de calcul pour un point singulier ou propriété thermodynamique.
diagrammes		Pour le fluide frigorigène choisi, deux types de diagrammes (P, H et T, S ) sont disponibles en activant le bouton situé au niveau du Menu ( 'option/diagramme log h ).

#### IV.6 étude d'impact des différents fluides réfrigérants :

Pour cela, nous proposons d'évaluer l'effet de 10 fluides frigorigènes dans les mêmes conditions de fonctionnement sur une machine frigorifique ayant les caractéristiques suivantes :

- Puissance frigorifique utile nécessaire :  $P_{\text{frigorifique}} = 100 \text{ kW}$
- Température de condensation =  $35^{\circ}\text{C}$
- Température d'évaporation ou d'ébullition  $-10^{\circ}\text{C}$
- Surchauffe =  $7^{\circ}\text{C}$
- Sous-refroidissement =  $5^{\circ}\text{C}$
- Rendement du compresseur  $\text{comp} = 0,80$

##### IV.6 .1 cas du R22 :

D'après la caractéristique suivant ci-dessus, les résultats de calcul sont résumés ci après :  
Pour le réfrigérant R22 :

- Au niveau de l'évaporateur :  $\Delta h_{\text{évaporateur}} = 405.99 - 236.75 = 169.24 \text{ kJ/kg.}$
- énergie théorique de compression:  $\Delta h_{\text{compression}} = 449.45 - 405.99 = 43.46 \text{ kJ/kg.}$
- Au niveau de condenseur :  $\Delta h_{\text{condenseur}} = 449.45 - 236.75 = 212.7 \text{ kJ/kg.}$
- volume massique à l'aspiration :  $V_{\text{massique\_aspiration}} = 0,067 \text{ m}^3/\text{kg.}$

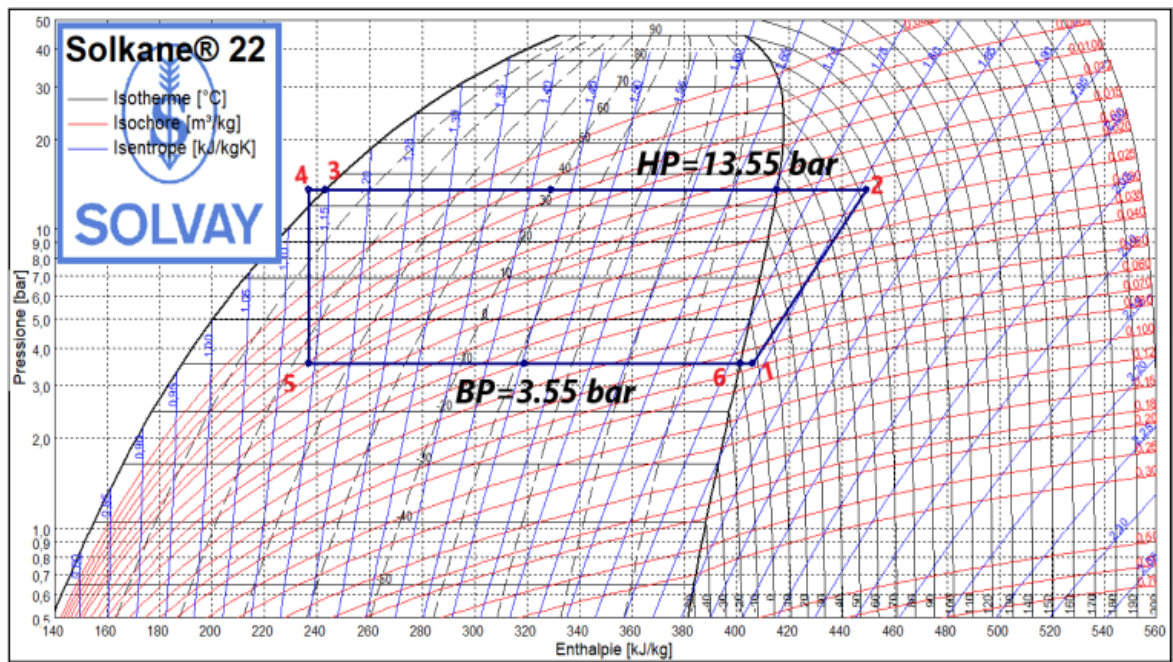


Figure IV.3 : Diagramme (P, h) pour le R22 [22].

➤ **Le débit massique :**

$$\text{Débit massique} = \frac{P_{\text{frigorifique}}}{\Delta h_{\text{évaporateur}}}$$

$$\text{Débit massique} = \frac{100 \text{ [kw]}}{169.24 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{Débit massique} = 0.59 \text{ kg/s Ou } 2124 \text{ kg/h.}$$

➤ **Le volume réel à aspirer par le compresseur :**

$$\text{Volume réel} = \text{débit massique} * \text{volume massique}_{\text{aspiration}}$$

$$\text{Volume réel} = 0,59 \text{ [kg/s]} * 0,067 \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$\text{Volume réel} = 0,0398 \text{ m}^3\text{/s Ou } 143.6 \text{ m}^3\text{/h.}$$

➤ **Le rendement volumétrique du compresseur :**

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - \epsilon_v * \frac{HP}{BP}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - 0.05 * \frac{13.55}{3.55}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = 0.809 \text{ Ou } 80.91\%$$

➤ **La puissance électrique du compresseur :**

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \text{débit massique} * \Delta h_{\text{compresseur}}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = 0.59 \text{ [kg/s]} * 43.46 \text{ [kJ/kg]}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = 25.7 \text{ kW}$$

➤ Coefficient de performance :

$$COP = \frac{Q_f \text{ [kJ/kg]}}{W \text{ [kJ/kg]}}$$

$$COP = \frac{169.24 \text{ [kJ/kg]}}{43.46 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$COP = 3.89$$

IV.6.2 Cas du R32 :

- Au niveau de l'évaporateur :  $\Delta h_{\text{évaporateur}} = 520.62 - 255.16 = 265.46 \text{ kJ/kg}$ .
- énergie théorique de compression:  $\Delta h_{\text{compression}} = 591.91 - 520.62 = 71.29 \text{ kJ/kg}$ .
- Au niveau de condenseur :  $\Delta h_{\text{condenseur}} = 591.91 - 255.16 = 336.75 \text{ kJ/kg}$ .
- volume massique à l'aspiration :  $V_{\text{massique\_aspiration}} = 0,065 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

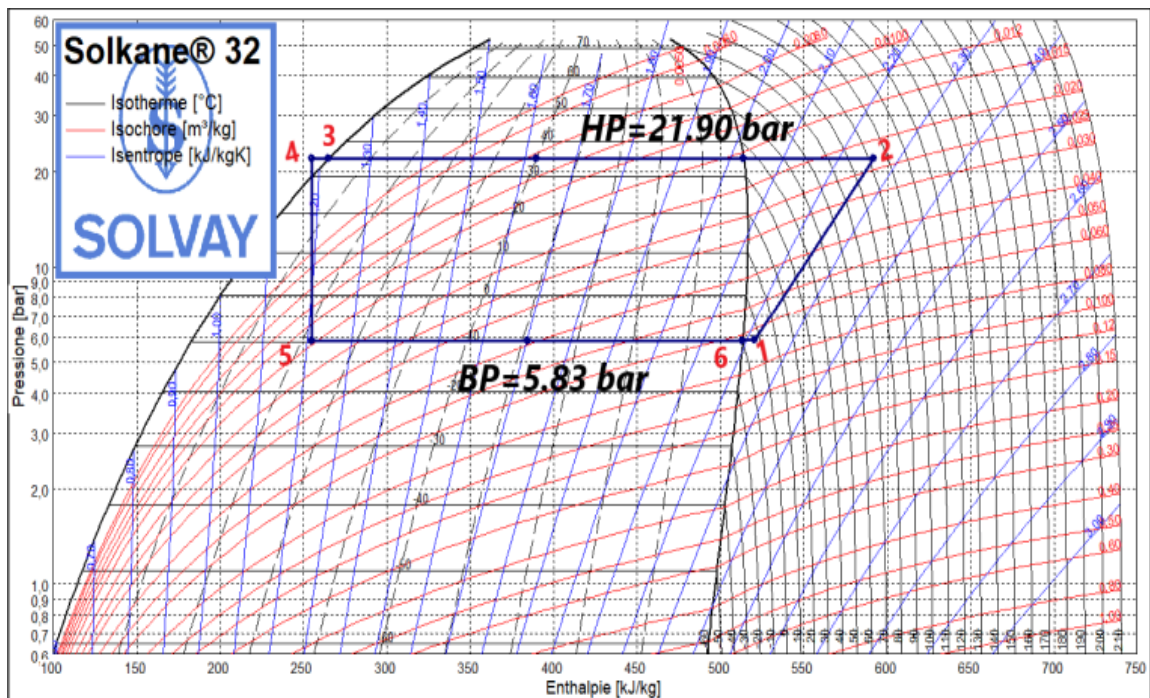


Figure IV.4 : Diagramme (P, h) pour le R32 [22].

➤ Le débit massique :

$$\text{Débit massique} = \frac{P_{\text{frigorigifiqu}}}{\Delta h_{\text{évaporateur}}}$$

$$\text{Débit massique} = \frac{100 \text{ [kw]}}{265.46 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{Débit massique} = 0.376 \text{ kg/s Ou } 1353 \text{ kg/h.}$$

➤ Le volume réel à aspirer par le compresseur :

$$\text{Volume réel} = \text{débit massique} * \text{volume massique\_aspiration}$$

$$\text{Volume réel} = 0,376 \text{ [kg/s]} * 0,065 \text{ [m}^3/\text{kg]}$$

Volume réel = **0,0247 m<sup>3</sup>/s** Ou **89.21 m<sup>3</sup>/h.**

➤ **Le rendement volumétrique du compresseur :**

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - \epsilon_c^* \frac{HP}{BP}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - 0.05^* \frac{21.90}{5.83}$$

$\eta_{\text{Volume}} = \mathbf{0.812}$  Ou **81.21%**

➤ **La puissance électrique du compresseur :**

$P_{\text{electr\_absorbée}} = \text{débit massique} * \Delta h_{\text{compresseur}}$

$P_{\text{electr\_absorbée}} = 0.376[\text{kg/s}] * 71.29 [\text{kJ/kg}]$

$P_{\text{electr\_absorbée}} = \mathbf{26.9 \text{ kW}}$

➤ **Coefficient de performance :**

$$\text{COP} = \frac{Q_f [\text{kJ/kg}]}{W [\text{kJ/kg}]}$$

$$\text{COP} = \frac{265.46 [\text{kJ/kg}]}{71.29 [\text{kJ/kg}]}$$

$\text{COP} = \mathbf{3.72}$

**IV.6.3 Cas du R134a :**

- Au niveau de l'évaporateur :  $\Delta h_{\text{évaporateur}} = 398.48 - 241.83 = 156.65 \text{ kJ/kg.}$
- énergie théorique de compression :  $\Delta h_{\text{compression}} = 438.54 - 398.48 = 40.06 \text{ kJ/kg.}$
- Au niveau de condenseur :  $\Delta h_{\text{condenseur}} = 438.54 - 241.83 = 196.71 \text{ kJ/kg.}$
- volume massique à l'aspiration :  $V_{\text{massique\_aspiration}} = 0,102 \text{ m}^3/\text{kg.}$

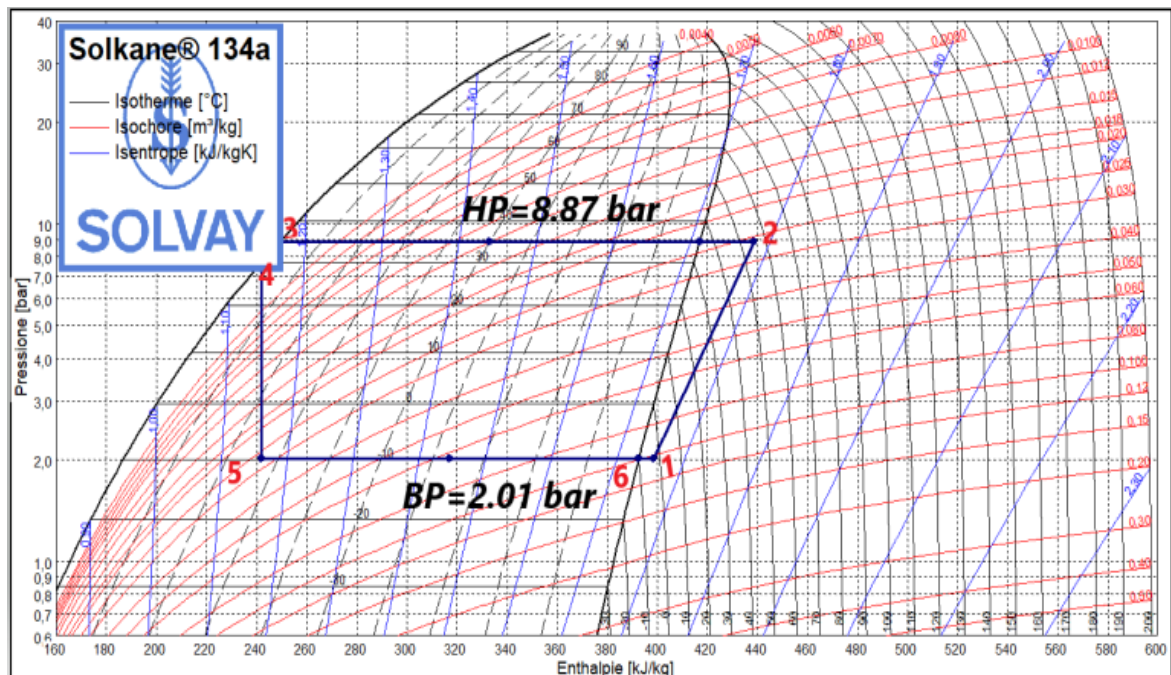


Figure IV.5 : Diagramme (P, h) pour le R134a [22].

➤ **Le débit massique :**

$$\text{Débit massique} = \frac{P_{\text{frigorigifiqu}}}{\Delta h_{\text{évaporateur}}}$$

$$\text{Débit massique} = \frac{100 \text{ [kw]}}{156.65 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{Débit massique} = \mathbf{0.638 \text{ kg/s}} \text{ Ou } \mathbf{2296 \text{ kg/h.}}$$

➤ **Le volume réel à aspirer par le compresseur :**

$$\text{Volume réel} = \text{débit massique} * \text{volume massique}_{\text{aspiration}}$$

$$\text{Volume réel} = 0,638 \text{ [kg/s]} * 0,102 \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$\text{Volume réel} = \mathbf{0,0657 \text{ m}^3\text{/s}} \text{ Ou } \mathbf{236.6 \text{ m}^3\text{/h.}}$$

➤ **Le rendement volumétrique du compresseur :**

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - \epsilon_v * \frac{HP}{BP}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - 0.05 * \frac{8.87}{2.01}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = \mathbf{0.779} \text{ Ou } \mathbf{77.93\%}$$

➤ **La puissance électrique du compresseur :**

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \text{débit massique} * \Delta h_{\text{compresseur}}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = 0.638 \text{ [kg/s]} * 40.06 \text{ [kJ/kg]}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \mathbf{25.6 \text{ kW}}$$

➤ **Coefficient de performance :**

$$\text{COP} = \frac{Q_f \text{ [kJ/kg]}}{W \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{COP} = \frac{156.65 \text{ [kJ/kg]}}{40.06 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{COP} = 3.91$$

**IV.6.4 Cas du R143a :**

- Au niveau de l'évaporateur :  $\Delta h_{\text{évaporateur}} = 388.40 - 246.06 = 142.34 \text{ kJ/kg.}$
- énergie théorique de compression :  $\Delta h_{\text{compression}} = 426.96 - 388.40 = 38.56 \text{ kJ/kg.}$
- Au niveau de condenseur :  $\Delta h_{\text{condenseur}} = 426.96 - 246.06 = 180.9 \text{ kJ/kg.}$
- volume massique à l'aspiration :  $V_{\text{massique\_aspiration}} = 0,052 \text{ m}^3\text{/kg.}$

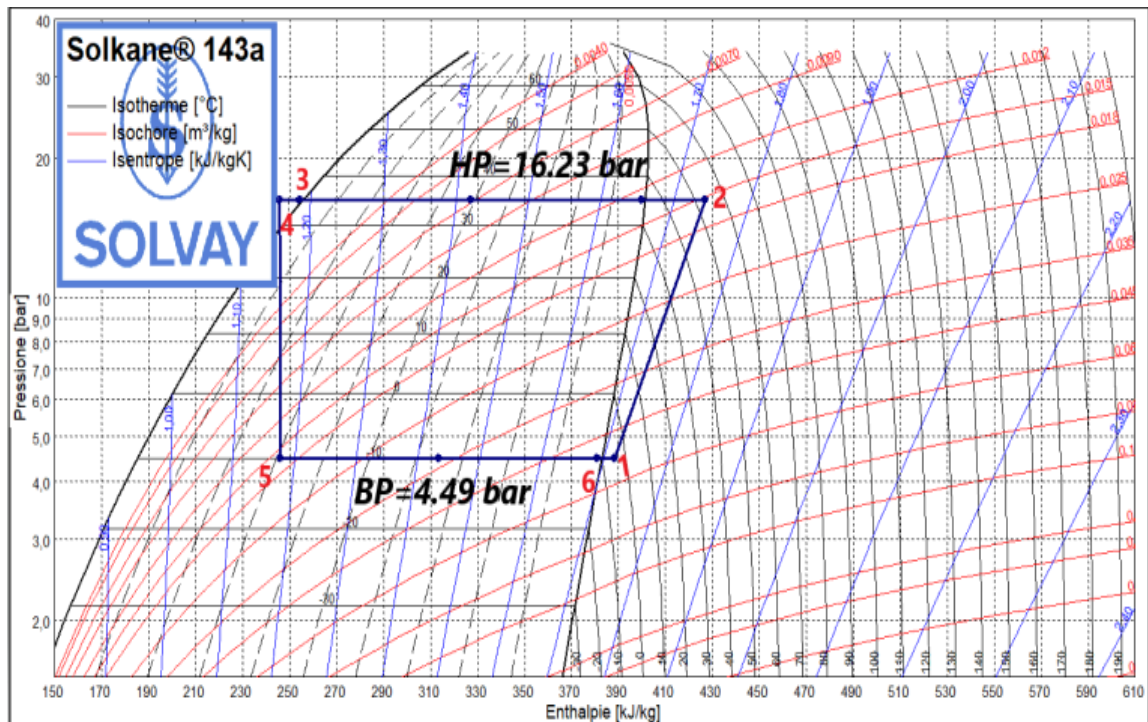


Figure IV.6 : Diagramme (P, h) pour le R143a [22].

➤ **Le débit massique :**

$$\text{Débit massique} = \frac{P_{\text{frigorigique}}}{\Delta h_{\text{évaporateur}}}$$

$$\text{Débit massique} = \frac{100 \text{ [kw]}}{142.34 \text{ [kJ/kg]}}$$

Débit massique = **0.702 kg/s** Ou **2527 kg/h.**

➤ **Le volume réel à aspirer par le compresseur :**

$$\text{Volume réel} = \text{débit massique} * \text{volume massique}_{\text{aspiration}}$$

$$\text{Volume réel} = 0,702 \text{ [kg/s]} * 0,052 \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

Volume réel = **0,0365 m³/s** Ou **132.6 m³/h.**

➤ **Le rendement volumétrique du compresseur :**

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - \epsilon_v * \frac{HP}{BP}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - 0,05 * \frac{16,23}{4,49}$$

$\eta_{\text{Volume}} = \mathbf{0.819}$  Ou **81.92%**

➤ **La puissance électrique du compresseur :**

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \text{débit massique} * \Delta h_{\text{compresseur}}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = 0.702 \text{ [kg/s]} * 38.56 \text{ [kJ/kg]}$$

$P_{\text{electr\_absorbée}} = \mathbf{27.1 \text{ kW}}$

➤ **Coefficient de performance :**

$$\text{COP} = \frac{Q_f \text{ [kJ/kg]}}{W \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{COP} = \frac{142.34 \text{ [kJ/kg]}}{38.56 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{COP} = 3.69$$

**IV.6.5 Cas du R152a :**

- Au niveau de l'évaporateur :  $\Delta h_{\text{évaporateur}} = 507.39 - 253.26 = 254.13 \text{ kJ/kg}$ .
- énergie théorique de compression :  $\Delta h_{\text{compression}} = 570.89 - 507.39 = 63.50 \text{ kJ/kg}$ .
- Au niveau de condenseur :  $\Delta h_{\text{condenseur}} = 570.39 - 253.26 = 317.13 \text{ kJ/kg}$ .
- volume massique à l'aspiration :  $V_{\text{massique\_aspiration}} = 0,176 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

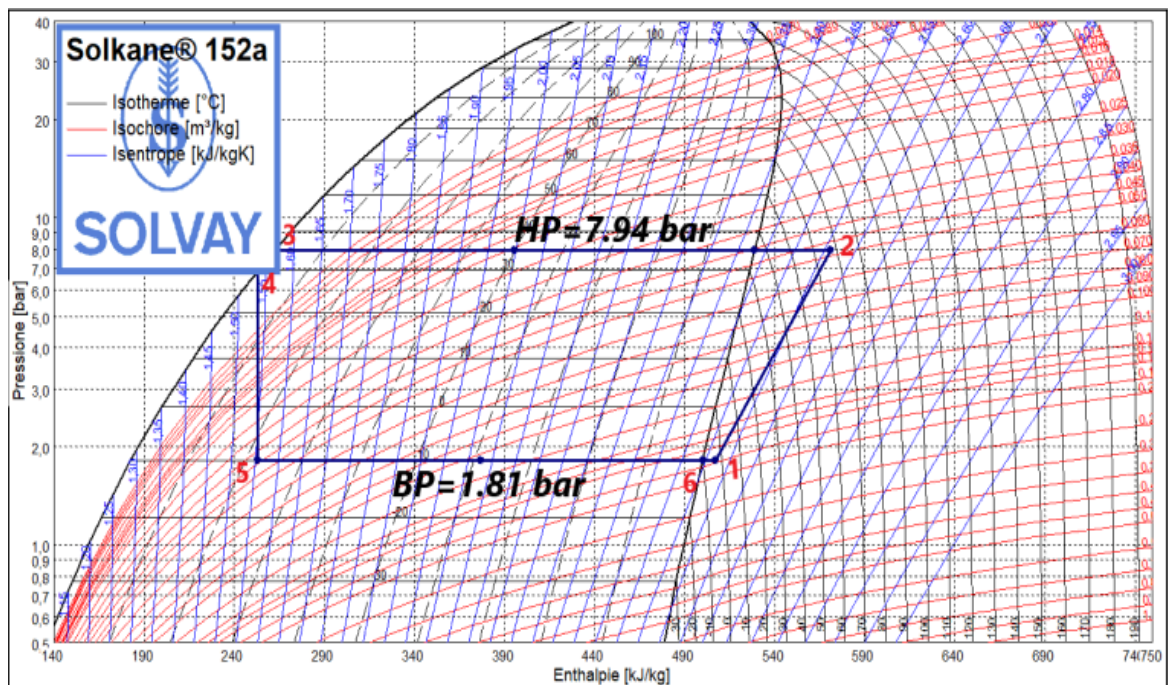


Figure IV.7 : Diagramme (P, h) pour le R152a [22].

➤ **Le débit massique :**

$$\text{Débit massique} = \frac{P_{\text{frigorigifiqu}}}{\Delta h_{\text{évaporateur}}}$$

$$\text{Débit massique} = \frac{100 \text{ [kw]}}{254.13 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{Débit massique} = 0.393 \text{ kg/s Ou } 1417 \text{ kg/h.}$$

➤ **Le volume réel à aspirer par le compresseur :**

$$\text{Volume réel} = \text{débit massique} * \text{volume massique\_aspiration}$$

$$\text{Volume réel} = 0,393 \text{ [kg/s]} * 0,176 \text{ [m}^3/\text{kg]}$$

$$\text{Volume réel} = 0,0695 \text{ m}^3/\text{s Ou } 250.3 \text{ m}^3/\text{h.}$$

➤ **Le rendement volumétrique du compresseur :**

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - \epsilon_v^* \frac{HP}{BP}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - 0.05^* \frac{7.94}{1.81}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = \mathbf{0.78} \quad \text{Ou} \quad \mathbf{78\%}$$

➤ **La puissance électrique du compresseur :**

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \text{débit massique} * \Delta h_{\text{compresseur}}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = 0.393[\text{kg/s}] * 63.5[\text{kJ/kg}]$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \mathbf{25 \text{ kW}}$$

➤ **Coefficient de performance :**

$$\text{COP} = \frac{Q_f [\text{kJ/kg}]}{W [\text{kJ/kg}]}$$

$$\text{COP} = \frac{254.13 [\text{kJ/kg}]}{63.5 [\text{kJ/kg}]}$$

$$\text{COP} = \mathbf{4}$$

**IV.6.6 Cas du R227 :**

- Au niveau de l'évaporateur :  $\Delta h_{\text{évaporateur}} = 323.20 - 234.82 = 88.38 \text{ kJ/kg}$ .
- énergie théorique de compression :  $\Delta h_{\text{compression}} = 347.09 - 323.20 = 23.89 \text{ kJ/kg}$ .
- Au niveau de condenseur :  $\Delta h_{\text{condenseur}} = 347.09 - 234.82 = 112.27 \text{ kJ/kg}$ .
- Volume massique à l'aspiration :  $V_{\text{massique\_aspiration}} = 0,094 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

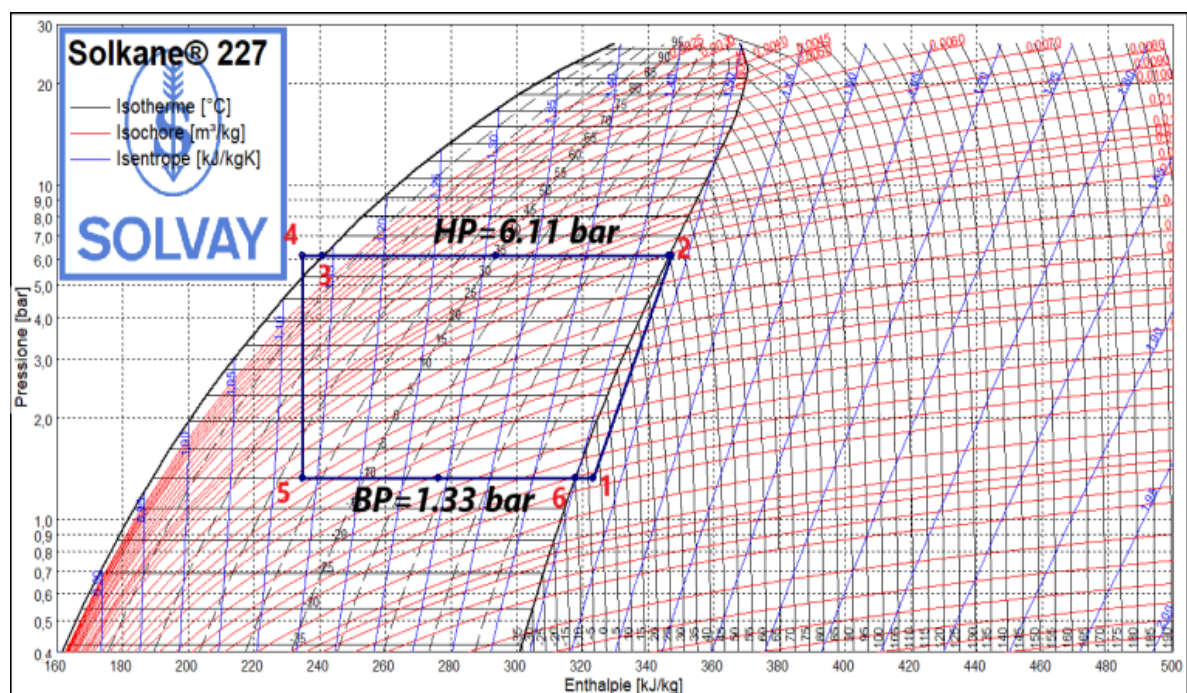


Figure IV.8 : Diagramme (P, h) pour le R227 [22].



➤ **Le débit massique :**

$$\text{Débit}_{\text{massique}} = \frac{P_{\text{frigorigifiqu}}}{\Delta h_{\text{évaporateur}}}$$

$$\text{Débit}_{\text{massique}} = \frac{100 \text{ [kw]}}{88.38 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{Débit}_{\text{massique}} = \mathbf{1.13 \text{ kg/s}} \text{ Ou } \mathbf{4045 \text{ kg/h.}}$$

➤ **Le volume réel à aspirer par le compresseur :**

$$\text{Volume}_{\text{réel}} = \text{débit}_{\text{massique}} * \text{volume}_{\text{massique\_aspiration}}$$

$$\text{Volume}_{\text{réel}} = 1.13 \text{ [kg/s]} * 0,094 \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$\text{Volume}_{\text{réel}} = \mathbf{0.106 \text{ m}^3\text{/s}} \text{ Ou } \mathbf{383.7 \text{ m}^3\text{/h.}}$$

➤ **Le rendement volumétrique du compresseur :**

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - \epsilon_v * \frac{HP}{BP}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - 0.05 * \frac{6.11}{1.33}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = \mathbf{0.77} \text{ Ou } \mathbf{77\%}$$

➤ **La puissance électrique du compresseur :**

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \text{débit}_{\text{massique}} * \Delta h_{\text{compresseur}}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = 1.13 \text{ [kg/s]} * 23.89 \text{ [kJ/kg]}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \mathbf{27 \text{ kW}}$$

➤ **Coefficient de performance :**

$$\text{COP} = \frac{Q_f \text{ [kJ/kg]}}{W \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{COP} = \frac{88.38 \text{ [kJ/kg]}}{23.89 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{COP} = \mathbf{3.70}$$

**IV.6.7 Cas du R404A :**

- Au niveau de l'évaporateur :  $\Delta h_{\text{évaporateur}} = 367.18 - 243.28 = 123.9 \text{ kJ/kg.}$
- énergie théorique de compression :  $\Delta h_{\text{compression}} = 401.27 - 367.18 = 34.09 \text{ kJ/kg.}$
- Au niveau de condenseur :  $\Delta h_{\text{condenseur}} = 401.27 - 243.28 = 157.99 \text{ kJ/kg.}$
- volume massique à l'aspiration :  $V_{\text{massique\_aspiration}} = 0,0475 \text{ m}^3\text{/kg.}$

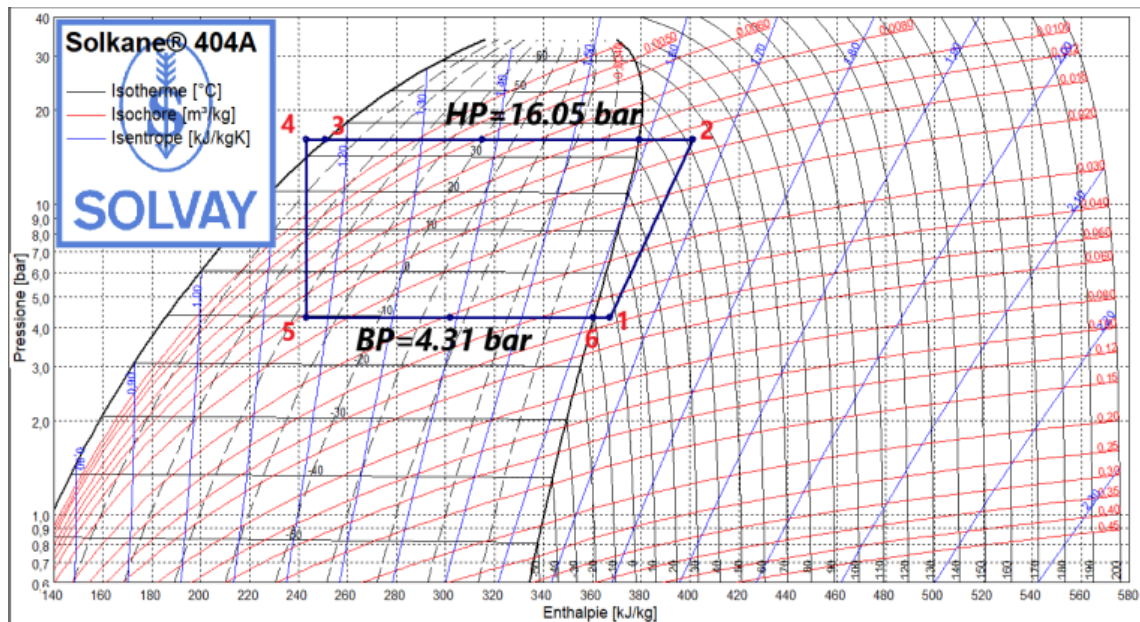


Figure IV.9 : Diagramme (P, h) pour le R404A [22].

➤ **Le débit massique :**

$$\text{Débit massique} = \frac{P_{\text{frigorifique}}}{\Delta h_{\text{évaporateur}}}$$

$$\text{Débit massique} = \frac{100 \text{ [kw]}}{123.9 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{Débit massique} = \mathbf{0.807 \text{ kg/s}} \text{ Ou } \mathbf{2903 \text{ kg/h.}}$$

➤ **Le volume réel à aspirer par le compresseur :**

$$\text{Volume réel} = \text{débit massique} * \text{volume massique aspiration}$$

$$\text{Volume réel} = 0,807 \text{ [kg/s]} * 0,0475 \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$\text{Volume réel} = \mathbf{0,038 \text{ m}^3\text{/s}} \text{ Ou } \mathbf{138.1 \text{ m}^3\text{/h.}}$$

➤ **Le rendement volumétrique du compresseur :**

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - \epsilon_v * \frac{HP}{BP}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - 0.05 * \frac{16.05}{4.31}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = \mathbf{0.813} \text{ Ou } \mathbf{81.38\%}$$

➤ **La puissance électrique du compresseur :**

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \text{débit massique} * \Delta h_{\text{compresseur}}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = 0.807 \text{ [kg/s]} * 34.09 \text{ [kJ/kg]}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \mathbf{27.5 \text{ kW}}$$

➤ **Coefficient de performance :**

$$\text{COP} = \frac{Q_f \text{ [kJ/kg]}}{W \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{COP} = \frac{123.9 \text{ [kJ/kg]}}{34.09 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{COP} = 3.63$$

#### IV.6.8 Cas du R407A :

- Au niveau de l'évaporateur :  $\Delta h_{\text{évaporateur}} = 397.26 - 234.36 = 162.9 \text{ kJ/kg}$ .
- énergie théorique de compression :  $\Delta h_{\text{compression}} = 439.88 - 397.26 = 42.62 \text{ kJ/kg}$ .
- Au niveau de condenseur :  $\Delta h_{\text{condenseur}} = 439.88 - 234.36 = 205.52 \text{ kJ/kg}$ .
- volume massique à l'aspiration :  $V_{\text{massique\_aspiration}} = 0,0657 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

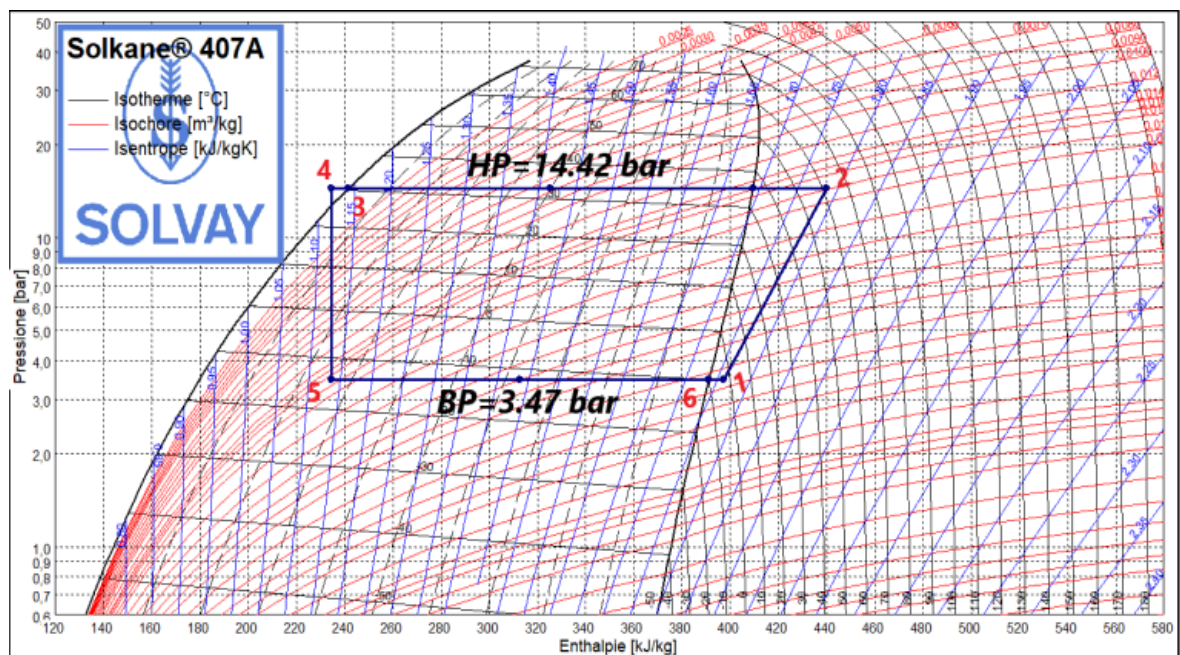


Figure IV.10 : Diagramme (P, h) pour le R407A [22].

#### ➤ Le débit massique :

$$\text{Débit massique} = \frac{P_{\text{frigorigifque}}}{\Delta h_{\text{évaporateur}}}$$

$$\text{Débit massique} = \frac{100 \text{ [kw]}}{162.9 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{Débit massique} = 0.613 \text{ kg/s Ou } 2207 \text{ kg/h.}$$

#### ➤ Le volume réel à aspirer par le compresseur :

$$\text{Volume réel} = \text{débit massique} * \text{volume massique\_aspiration}$$

$$\text{Volume réel} = 0,613 \text{ [kg/s]} * 0,0657 \text{ [m}^3/\text{kg]}$$

$$\text{Volume réel} = 0,040 \text{ m}^3/\text{s Ou } 145.3 \text{ m}^3/\text{h.}$$

➤ **Le rendement volumétrique du compresseur :**

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - \epsilon_v^* \frac{HP}{BP}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - 0.05^* \frac{14.42}{3.47}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = 0.792 \quad \text{Ou} \quad 79.22\%$$

➤ **La puissance électrique du compresseur :**

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \text{débit massique} * \Delta h_{\text{compresseur}}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = 0.613 \text{ [kg/s]} * 42.62 \text{ [kJ/kg]}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = 26.2 \text{ kW}$$

➤ **Coefficient de performance :**

$$\text{COP} = \frac{Q_f \text{ [kJ/kg]}}{W \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{COP} = \frac{162.9 \text{ [kJ/kg]}}{42.62 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{COP} = 3.82$$

**IV.6.9 Cas du R410A :**

- Au niveau de l'évaporateur :  $\Delta h_{\text{évaporateur}} = 424.8 - 248.08 = 176.72 \text{ kJ/kg}$ .
- énergie théorique de compression :  $\Delta h_{\text{compression}} = 472.78 - 424.8 = 47.98 \text{ kJ/kg}$ .
- Au niveau de condenseur :  $\Delta h_{\text{condenseur}} = 472.78 - 248.08 = 224.7 \text{ kJ/kg}$ .
- volume massique à l'aspiration :  $V_{\text{massique\_aspiration}} = 0,0476 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

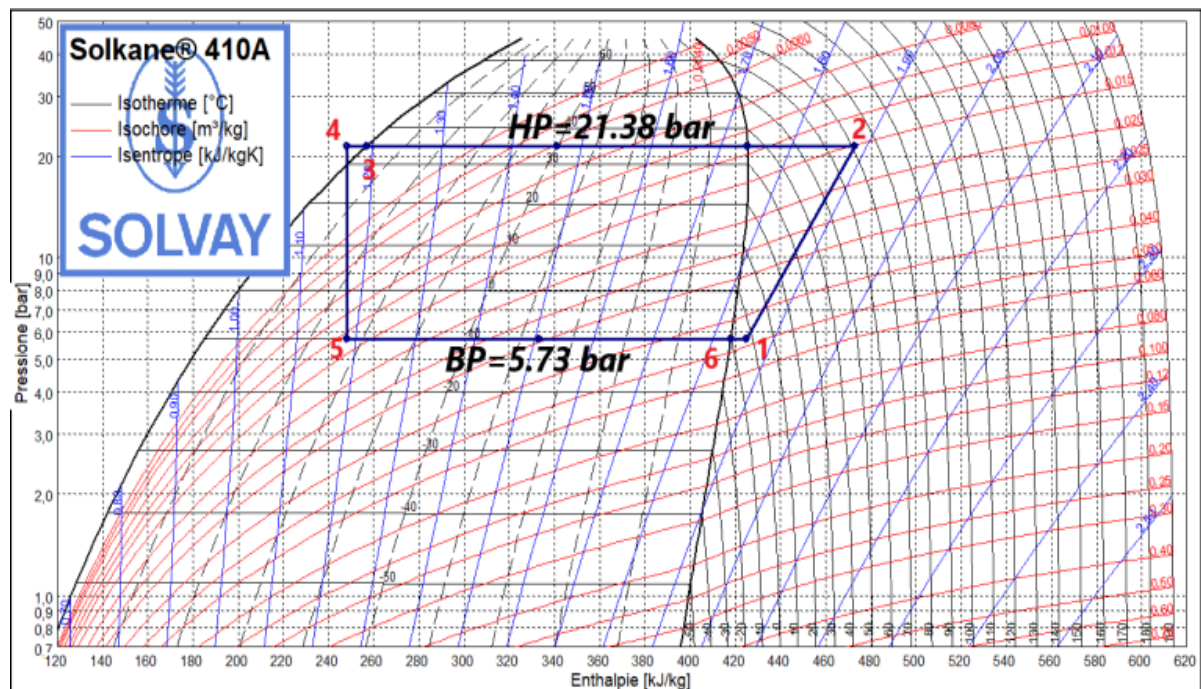


Figure IV.11 : Diagramme (P, h) pour le R410A [22].

➤ **Le débit massique :**

$$\text{Débit}_{\text{massique}} = \frac{P_{\text{frigorigique}}}{\Delta h_{\text{évaporateur}}}$$

$$\text{Débit}_{\text{massique}} = \frac{100 \text{ [kw]}}{176.72 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{Débit}_{\text{massique}} = \mathbf{0.565 \text{ kg/s}} \text{ Ou } \mathbf{2034 \text{ kg/h.}}$$

➤ **Le volume réel à aspirer par le compresseur :**

$$\text{Volume}_{\text{réel}} = \text{débit}_{\text{massique}} * \text{volume}_{\text{massique\_aspiration}}$$

$$\text{Volume}_{\text{réel}} = 0,565 \text{ [kg/s]} * 0,0476 \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$\text{Volume}_{\text{réel}} = \mathbf{0,027 \text{ m}^3\text{/s}} \text{ Ou } \mathbf{97.03 \text{ m}^3\text{/h.}}$$

➤ **Le rendement volumétrique du compresseur :**

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - \epsilon_v^* \frac{HP}{BP}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - 0.05 * \frac{21.38}{5.73}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = \mathbf{0.813} \text{ Ou } \mathbf{81.34\%}$$

➤ **La puissance électrique du compresseur :**

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \text{débit}_{\text{massique}} * \Delta h_{\text{compresseur}}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = 0.565 \text{ [kg/s]} * 47.98 \text{ [kJ/kg]}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \mathbf{27.1 \text{ kW}}$$

➤ **Coefficient de performance :**

$$\text{COP} = \frac{Q_f \text{ [kJ/kg]}}{W \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{COP} = \frac{176.72 \text{ [kJ/kg]}}{47.98 \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{COP} = \mathbf{3.68}$$

**IV.6.10 Cas du R507 :**

- Au niveau de l'évaporateur :  $\Delta h_{\text{évaporateur}} = 363.38 - 243.64 = 119.74 \text{ kJ/kg.}$
- énergie théorique de compression :  $\Delta h_{\text{compression}} = 396.51 - 363.38 = 33.13 \text{ kJ/kg.}$
- Au niveau de condenseur :  $\Delta h_{\text{condenseur}} = 396.51 - 243.64 = 152.87 \text{ kJ/kg.}$
- Volume massique à l'aspiration :  $V_{\text{massique\_aspiration}} = 0,0448 \text{ m}^3\text{/kg.}$

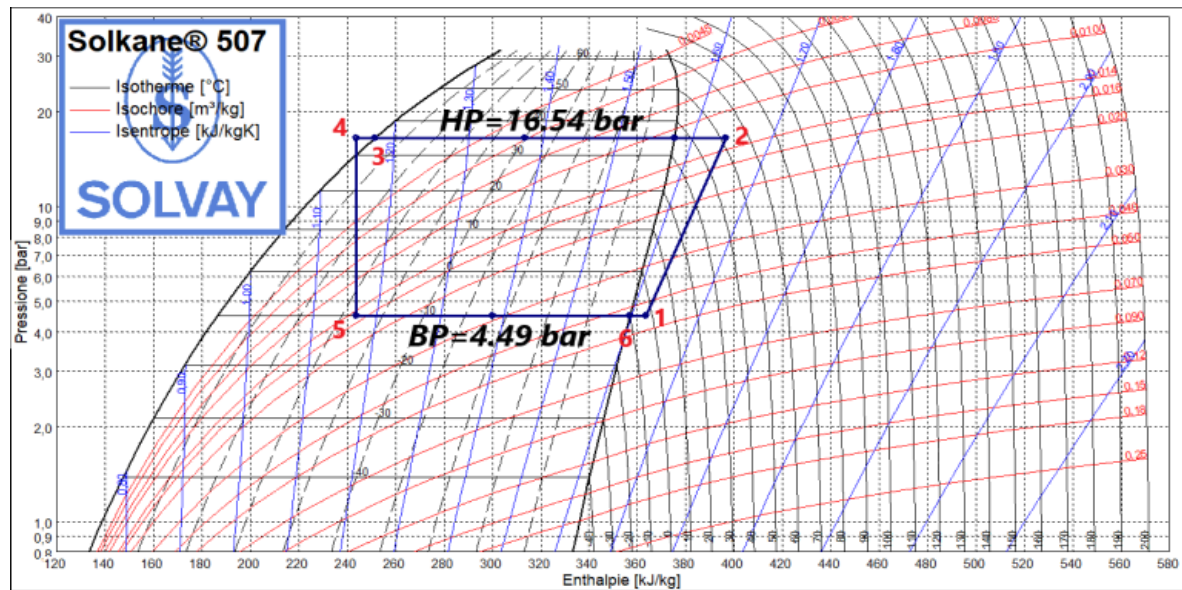


Figure IV.12 : Diagramme (P, h) pour le R507 [22].

➤ **Le débit massique :**

$$\text{Débit massique} = \frac{P_{\text{frigorifique}}}{\Delta h_{\text{évaporateur}}}$$

$$\text{Débit massique} = \frac{100 \text{ [kw]}}{119.74 \text{ [kJ/kg]}}$$

Débit massique = **0.835 kg/s** Ou **3006 kg/h**.

➤ **Le volume réel à aspirer par le compresseur :**

$$\text{Volume réel} = \text{débit massique} * \text{volume massique aspiration}$$

$$\text{Volume réel} = 0,835 \text{ [kg/s]} * 0,0448 \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

Volume réel = **0,037 m<sup>3</sup>/s** Ou **134.7 m<sup>3</sup>/h**.

➤ **Le rendement volumétrique du compresseur :**

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - \epsilon_v * \frac{HP}{BP}$$

$$\eta_{\text{Volume}} = 1 - 0.05 * \frac{16.54}{4.49}$$

$\eta_{\text{Volume}}$  = **0.815** Ou **81.58%**

➤ **La puissance électrique du compresseur :**

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = \text{débit massique} * \Delta h_{\text{compresseur}}$$

$$P_{\text{electr\_absorbée}} = 0.835 \text{ [kg/s]} * 33.13 \text{ [kJ/kg]}$$

$P_{\text{electr\_absorbée}}$  = **27.7 kW**

➤ **Coefficient de performance :**

$$\text{COP} = \frac{Q_f \text{ [kJ/kg]}}{W \text{ [kJ/kg]}}$$

$$\text{COP} = \frac{119.74 \text{ [kJ/kg]}}{33.13 \text{ [kJ/kg]}}$$

COP = **3.61**

## IV.7 Comparaison des performances des fluides

Le tableau IV.1, récapitule les résultats obtenus pour 10 fluides réfrigérants étudiés :

Nom des fluides frigorigènes	R22	R32	R134a	R143a	R152a	R227	R404A	R407A	R410A	R507
$\Delta h_{\text{évaporateur}}(\text{kJ/kg})$	169.24	265.46	156.65	142.34	254.13	88.38	123.9	162.9	176.72	119.74
$\Delta h_{\text{compression}}(\text{kJ/kg})$	43.46	71.29	40.06	38.56	63.50	23.89	34.09	42.62	47.98	33.13
$\Delta h_{\text{condenseur}}(\text{kJ/kg})$	212.7	336.75	196.71	180.9	317.13	112.27	157.99	205.52	224.7	152.87
Haute pression (bar)	13.55	21.90	8.87	16.23	7.94	6.11	16.05	14.42	21.38	16.54
Basse pression (bar)	3.55	5.83	2.01	4.49	1.81	1.33	4.31	3.47	5.73	4.49
Rapporte de compression	3.82	3.76	4.42	3.61	4.37	4.60	3.73	4.15	3.73	3.68
Rendement volumétrique	80.91%	81.21%	77.93%	81.92%	78%	77%	81.38%	79.22%	81.34%	81.58%
Température moyen de refoulement (°c)	74.07	92.69	55.39	53.94	67.27	35.77	52.60	61.64	70.91	51.82
Volume massique aspiration (m <sup>3</sup> /kg)	0.067	0.065	0.102	0.052	0.176	0.094	0.047	0.065	0.047	0.044
Débit massique (kg/s)	0.59	0.376	0.638	0.702	0.393	1.13	0.807	0.613	0.565	0.835
Puissance électrique (kW)	25.7	26.9	25.6	27.1	25	27	27.5	26.2	27.1	27.7
<b>cop</b>	<b>3.89</b>	<b>3.72</b>	<b>3.91</b>	<b>3.69</b>	<b>4</b>	<b>3.70</b>	<b>3.63</b>	<b>3.82</b>	<b>3.68</b>	<b>3.61</b>

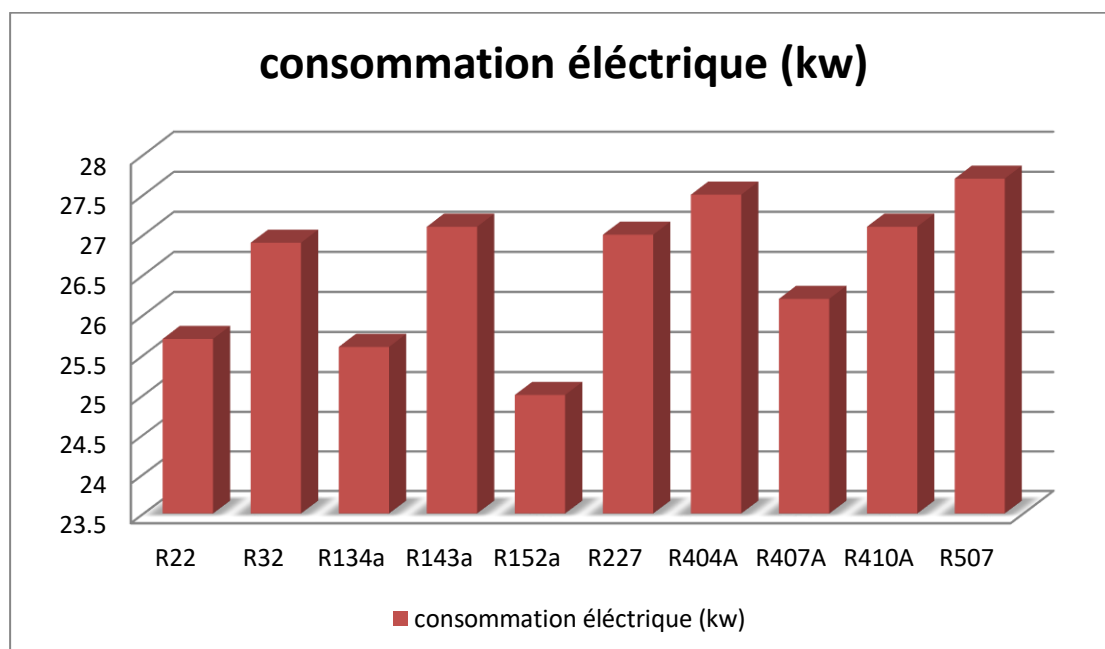
Tableau IV.1 : Résultats et performances des fluides frigorigènes [22].

A noter que les fluides frigorigènes étudiés présentent de nombreuses similitudes. Cependant, le réfrigérant R152a a le COP le plus élevé, suivi par du R134a.

La faible valeur de COP est obtenue pour le réfrigérant R507 correspondant à la valeur de 3.61. Donc, dans les mêmes conditions de fonctionnement et pour une même période d'utilisation, la consommation d'énergie électrique de la machine fonctionnant au R134a est de 1 % plus élevée à celle fonctionnant au R152a, et celle fonctionnant au R507 est plus élevée.

Le pourcentage de diminution des performances des autres fluides est donné dans le tableau IV .1.

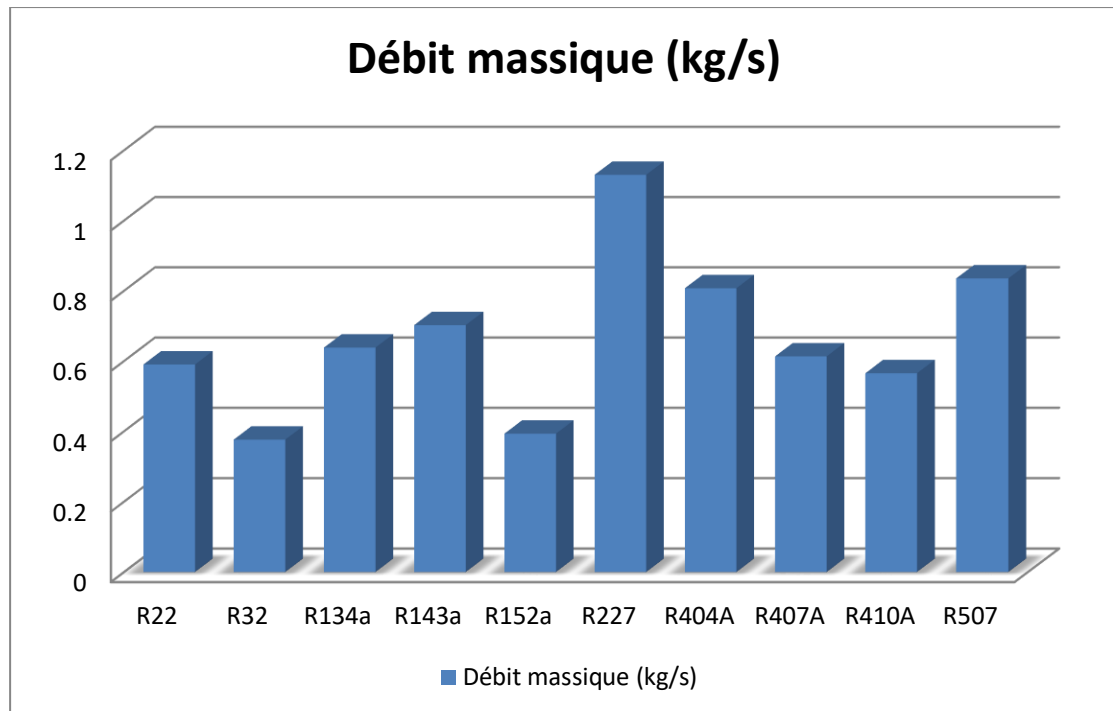
Les figures (IV.13, IV.14, IV.15, IV.16) représentent des histogrammes de la puissance électrique consommée par le compresseur, du débit massique, de la pression de refoulement et de la pression d'aspiration, respectivement.



**Figure IV.13 :** Histogramme de consommation électrique des fluides frigorigènes.

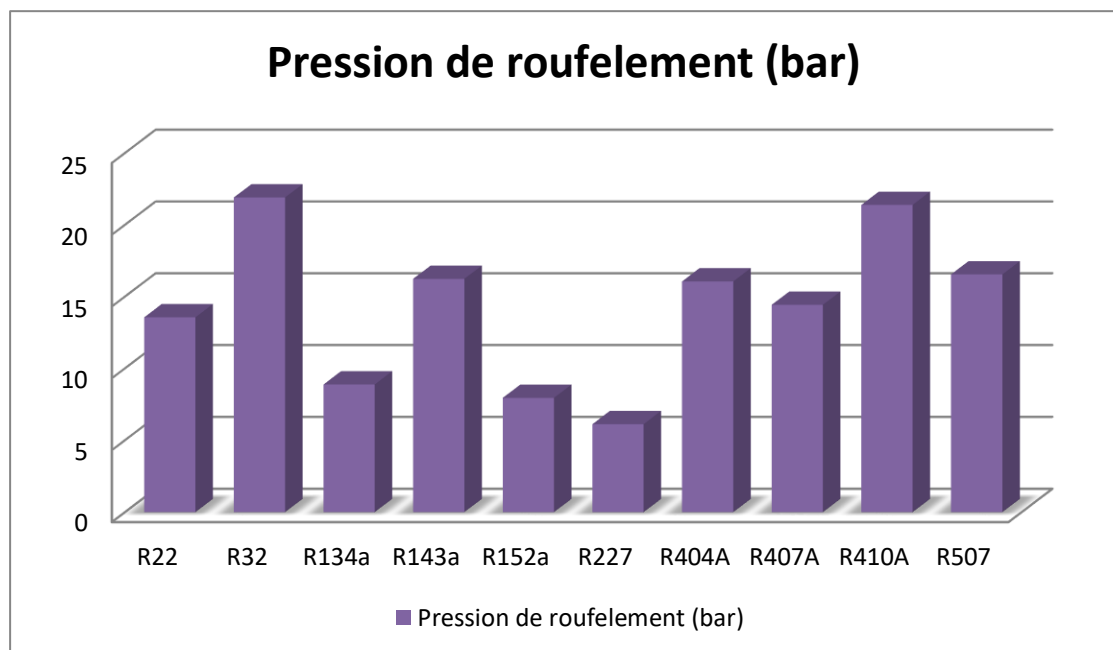
La figure IV.13 présente un histogramme de la consommation électrique des fluides frigorigènes. Sur cet histogramme, on constate clairement que les machines fonctionnant aux réfrigérants R152a, R134a et R22 consomment moins d'énergie comparées à celles utilisant les réfrigérants R404A, R507, R143a, R410A, R227 et R32. La puissance électrique supplémentaire consommée par ces derniers s'élève à environ 3KW pour une puissance frigorifique de 100KW soit 3% de la puissance frigorifique.



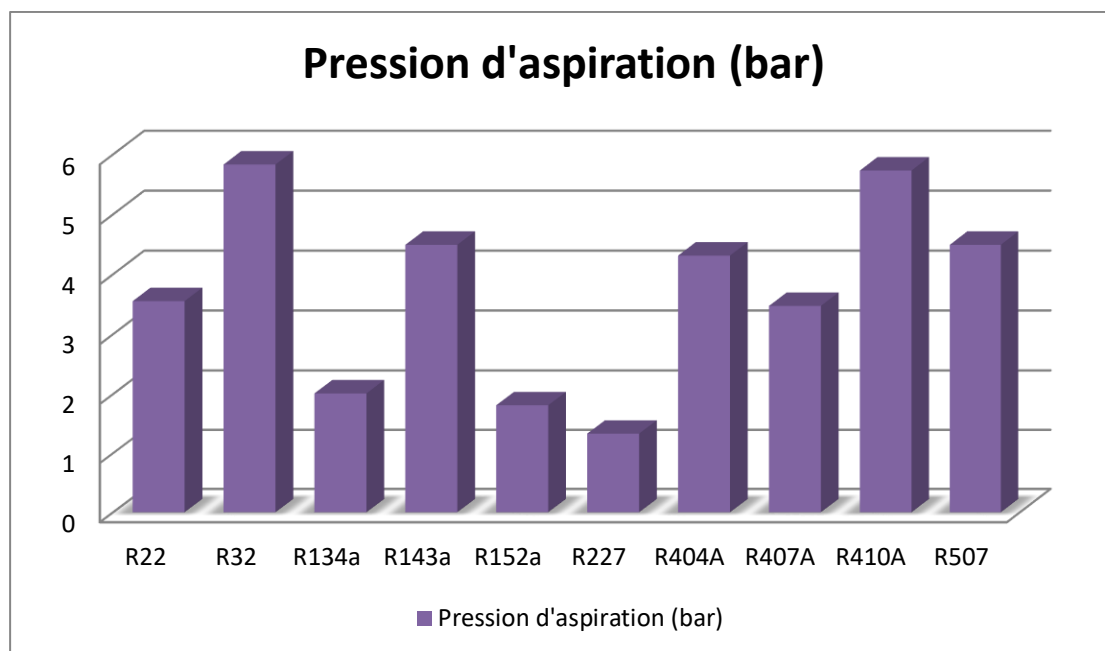


**Figure IV.14 :** Histogramme du débit massique des fluides frigorigènes.

A partir de la Figure IV.14, on peut voir que le débit massique de fluide frigorigène délivré dans le fluide frigorigène. Dans le cas du R32 et du R152a, les machines ayant la même charge de refroidissement sont inférieures. Du Tableau IV.1, nous concluons que les fluides R32 et R152a sont les plus performants des fluides étudiés car ils possèdent la chaleur latente de vaporisation la plus élevée.



**Figure IV.15 :** Histogramme de la pression de refoulement des fluides frigorigènes.



**Figure IV.16 :** Histogramme d'aspiration du compresseur des fluides frigorigènes.

De la Figure (IV.15 et IV.16 et Tableau IV.1) on a Les réfrigérant R227 et R152a est sa faible pression de refoulement et d'aspiration, nécessitant ainsi de faibles épaisseurs de tubes et de moindres sollicitant mécaniques.

Réfrigérant	R22	R32	R134a	R143a	R152a	R227	R404A	R407A	R410A	R507
<b>COP</b>	3.89	3.72	3.91	3.69	4	3.70	3.63	3.82	3.68	3.61
<b>ODP</b>	0.055	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>GWP</b>	1500	650	1300	3800	140	3220	3260	1770	2100	3300

**Tableau IV.2 :** Facteur d'impact sur la couche d'ozone(ODP) et de réchauffement climatique(GWP) [10].

On remarque d'après le tableau IV.2, pour certains mélanges de HFC tels que R404A et R507 et R143a montrent leurs très grands effets de serre (GWP) Également important pour la couche d'ozone.

D'une part, mais d'autre part, pour un même mélange de HFC comme le R32 et le R152a, leur (GWP) est plus faible, ce qui signifie que ce dernier est le plus utile en climatisation.

En tenant compte des contraintes liées à l'environnement, c.à.d. en s'intéressant aux indices d'impact ODP et GWP, on déduit que le réfrigérants R152a est le fluide le

plus approprié parmi les fluides étudiés du fait qu'il a un ODP nul et un GWP le plus faible qui est de 140 (voir tableaux I.1 et IV.2).

# CONCLUSION GENERALE

## Conclusion

Dans cet étude, des expériences ont été menées pour étudier de dix fluides frigorigènes a été réalisée, Ces Les fluides frigorigènes étudiés sont : R22, R32, R134a, R143a, R152a, R227, R404A, R407A, R410A, R507.

Pour mener à bien nos recherches, il est nécessaire d'examiner les propriétés thermo physiques de ces fluides frigorigènes et leur impact sur l'environnement, c'est-à-dire leur impact sur la couche d'ozone et le réchauffement climatique.

La maîtrise du logiciel SOLKANE s'est avérée cruciale pour la réalisation de nos recherches.

➤ De cette étude il ressort :

- Le type du fluide réfrigérant influence fortement le coefficient de performance de la machine frigorifique.

- Il est primordial d'avoir un fluide présentant une grande chaleur latente de vaporisation.

- Pour une même charge frigorifique de 100KW, les fluides frigorigènes R22, R32, R134a, R152a sont les plus performants d'un point de vue énergétique et la charge sera moindre lors du fonctionnement de la machine.

En raison des contraintes liées à l'environnement, le fluide R152a est le plus adapté du fait des contraintes environnementales (ODP=0, GWP=140).

En perspectives, cette étude peut être étendue à d'autres fluides réfrigérants .Aussi la confrontation de nos résultats aux résultats expérimentaux d'un banc d'essai tenant compte des pertes de charges dans le circuit est souhaitable

**RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1]. Document production du froid « chapitre 1 » université de Ain Temouchent
- [2]. Djadi Kamilia , Toudert Saousene pfe mémoire « Caractérisation et conception d'un système de réfrigération » université de Bouira année 2014/2015
- [3]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide\\_frigorig%C3%A8ne](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide_frigorig%C3%A8ne)
- [4].<https://www.etudier.com/dissertations/Historique-Fluides-Frigorig%C3%A8nes/48127476.html>
- [5].<https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/thermique-fluide-frigorigene-5754/>
- [6]. [http://www.physique-et-matiere.com/fluide\\_frigorigene.php](http://www.physique-et-matiere.com/fluide_frigorigene.php)
- [7]. « Document les familles de fluides frigorigènes » Version 001-2014
- [8]. Directeur de thèse : dominique richon « étude des fluides frigorigènes, mesures et modélisation » école nationale supérieure de mines de paris 2003.
- [9]. <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Fluide-frigorigene-page-2.html>
- [10]. Ghorzi Abdelwaheb , M'khantar oussama pfe mémoire « Évaluation des performances expérimentales du gaz R32 pour remplacer le gaz R410A dans les climatiseurs » université de Ain Temouchent année 2020/2021
- [11]. <https://colddistribution.fr/content/19-fonctionnement-du-compresseur>
- [12]. <https://energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/composants-installation-frigorifique/fluides-frigorigenes/>
- [13]. <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Climatisation.html>
- [14]. <https://www.climamaison.com/lexique/climatiseur.htm>
- [15]. <https://www.clim34.fr/blog/decouvrir-la-technique/fonctionnement-d-un-climatiseur-reversible.html>
- [16]. <https://www.clim34.fr/blog/decouvrir-la-technique/fonctionnement-d-un-climatiseur-reversible.html>
- [17]. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Climatisation>
- [18]. <https://www.xpair.com/lexique/definition/recyclage-climatiseurs.htm>
- [19]. [https://www.m-habitat.fr/climatisation/types-de-climatiseur/les-differents-types-de-climatiseur-1938\\_A](https://www.m-habitat.fr/climatisation/types-de-climatiseur/les-differents-types-de-climatiseur-1938_A)
- [20].<https://www.ummt0.dz/dspace/bitstream/handle/ummt0/4007/Hamdadou,%20Siham.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [21]. <https://www.abcclim.net/evaporateur.html>[ 12].
- [22]. SOLKANE version 8.0 by Solvay