

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche  
scientifique  
جامعة بلحاج بوشعيبين 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

Évaluation des performances expérimentales du gaz R32  
pour remplacer le gaz R410A dans les climatiseurs

**Présenté Par :** Le : 12/07/2021

- 1) Ghorzi Abdelwaheb
- 2) M'khantar oussama

**Devant les jurys composés de :**

Pr bounif Abdel Hamid  
Dr Nehari Tayeb  
Pr oudad wahid

U.B.B (Ain Temouchent)  
U.B.B (Ain Temouchent)  
U.B.B (Ain Temouchent)

Président  
Encadrant  
Examineur

*Année universitaire 2020/2021*

---

## ***Résumé***

Cette étude traite des différentes conditions de fonctionnement de trois réfrigérants, à savoir le R22, le R410A et le R32. Pour l'analyse Une tonne de climatiseur de fenêtre a été choisie. Fondamentalement, le cycle de fonctionnement est un simple cycle de réfrigération à compression de vapeur avec compresseur hermétique. Les groupes de frigorigènes HFC n'ont pas de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone et de frigorigènes comme le R32 a l'avantage d'un potentiel de réchauffement global plus faible (GWP : 675) par rapport au R22 (GWP : 1700) et Fluides frigorigènes R410A (GWP : 2100). Conformément à l'indication du protocole de Montréal et de Kyoto, la communauté mondiale a décidé de réduire progressivement les frigorigènes du groupe HCFC. L'industrie de la réfrigération et de la climatisation doit évaluer une nouvelle alternative réfrigérante au HCFC-22 également connu sous le nom de R22. Les paramètres de performance tels que le rapport de pression, la température de condensation, la décharge la température du compresseur, la consommation électrique et le COP du système ont été analysés et comparés. Les performances du réfrigérant R32 sont meilleures que celles du R410A, R22 qui a été remplacé par ce réfrigérant au début de 2012 car il est respectueux de l'environnement et de l'homme.

**Mots Clés :** *R22, R410A, R32, Performances*

## المخلص

تعالج هذه المذكرة ظروف التشغيل لثلاثة غازات مختلفة، وهي R22 و R410A و R32. للتحليل طن من مكيفات السكنية و التجارية. دورة العمل في الأساس عبارة عن دورة تبريد بضغط بخار بسيطة مع ضاغط محكم. لا تحتوي مجموعات مبردات مركبات الكربون الهيدروفلورية على إمكانات استنفاد الأوزون، كما أن المبردات مثل R32 لها ميزة إمكانية انخفاض احتراق العالمي (GWP: 675) مقارنة بمبردات R22 (GWP: 1700) و R410A (GWP: 2100) وفقاً للإشارة الواردة في بروتوكول مونتريال وكيوتو ، قرر المجتمع الدولي التخليص التدريجي لمواد التبريد لمجموعة مركبات الكربون الهيدروكلورية فلورية. تحتاج صناعة التبريد وتكييف الهواء إلى تقييم بديل جديد لغاز التبريد لـ HCFC-22 المعروف أيضاً باسم R22. تم تحليل ومقارنة معلمات الأداء مثل نسبة الضغط ودرجة حرارة التكثيف ودرجة حرارة ضاغط التفريغ واستهلاك الطاقة ونظام COP. يظهر الاداء المبرد R32 أفضل من R410A ، R22 الذي تم استبداله مكان هذا الغازات في بداية عام 2012.

## Abstracts

This study deals with the different operating conditions of three refrigerants, namely R22, R410A and R32. For analysis 1 One ton of window air conditioner was chosen. Basically the duty cycle is a simple vapor compression refrigeration cycle with hermetic compressor. HFC refrigerant groups have no ozone depletion potential and refrigerants like R32 has the advantage of lower global warming potential (GWP: 675) compared to R22 (GWP : 1700) and R410A refrigerants (GWP: 2100). In accordance with the indication of the Montreal and Kyoto Protocol, the world community has decided to gradually reduce the refrigerants of the HCFC group. The refrigeration and air conditioning industry needs to evaluate a new refrigerant alternative to HCFC-22 also known as R22. Performance parameters such as pressure ratio, condensing temperature, discharge compressor temperature, power consumption and system COP were analyzed and compared. The performance of the refrigerant R32 is better than that of the R410A, R22 which was replaced by this refrigerant at the beginning of 2012 because it is respectful of the environment and of man.

**Keywords :** *R22, R410A, R32, Performance*

## **Remerciement**

*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 tenons à remercier chaleureusement les membres du jury qui nous ont honorés de bien vouloir accepter de faire part de ce jury, et nous auront généreusement fait part de leurs remarques qui serviront à perfectionner ce travail.*

*Nous voudrions également remercier notre encadreur monsieur TAYEB NEHARI qui nous a fait confiance en acceptant de nous encadrer sur ce sujet, nous eux sommes très reconnaissant de l'opportunité qu'il nous a donnée.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à tous nos professeurs, qui ont accepté à nous rencontrer et répondre à nos questions durant notre recherche.*

*Nos vifs remerciements à tout le personnel de la centrale thermique SKÈ en particulier les ingénieurs et les techniciens pour tous les moyens qu'il a mis à notre disposition, pour que nous puissions effectuer notre recherche dans les meilleures conditions.*

*Nous voudrions exprimer notre gratitude pour toute l'aide apportée, envers toute l'équipe du laboratoire du centre de formation professionnelle (CFPA), d'AIN TEMOUCHENT, que nous avons côtoyé quotidiennement.*

# *Dédicace*

*C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce  
modeste travail de fin d'étude à :*

*A mes chers parents qui ont sacrifiée leur vie pour ma réussite  
et m'ont éclairé le chemin avec leur conseils judicieux que dieu  
les protège*

*À la mémoire de ma très chère grand-mère décédée trop tôt qui  
m'a toujours poussée et motivée.*

*A mon grand-père et ses précieux conseils pour toute son  
assistance et sa présence dans ma vie.*

*A mes chères frères « mohammed amine et Youcef » à qui je  
souhaite beaucoup de bonheur et de chance.*

*A ma sœur et ma source de bonheur « Wassila »*

*A tous les membres de ma famille. Mes amis.*

*À mon binôme M'khantaroussama*

*À tous mes enseignants durant les années des études.*

*À tous mes collègues de la promotion 2020/2021 de spécialité  
génie Mécanique option énergétique*

*Et pour tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près à la  
réalisation de ce mémoire.*

*GHORZI abdelwaheb*

*Merci infiniment*

# *Dédicaces*

*Je dédie cet ouvrage*

*À ma maman qui m'a soutenu et encouragé  
durant ces années d'études.*

*Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde  
reconnaissance.*

*À mes frères brahim Romaisa Imane , mes  
grands parents et Ceux qui ont partagé avec moi  
tous les moments d'émotion lors de la  
réalisation de ce travail. Ils m'ont  
chaleureusement supporté et encouragé tout au  
long de mon parcours.*

*À ma famille « m'khantar ; ben salme», mes  
proches et à ceux qui me donnent de l'amour et  
de la vivacité. À mon binôme GHORZI  
abdelwaheb. À tous mes enseignants durant les  
années des études. À tous mes collègues de la  
promotion 2020/2021 de spécialité génie  
Mécanique option énergétique*

*À tous mes amis qui m'ont toujours encouragé,  
et à qui je souhaite plus de succès.*

*À tous ceux que j'aime*

---

*M'khantar oussama*

---

# Table de Matière

---

<b>Remerciement</b>	.....	i
<b>Dédicace</b>	.....	ii
<b>Résumé</b>	.....	iii
<b>Abstracts</b>	.....	iii
<b>Table de matière</b>	.....	iv
<b>Liste des figures</b>	.....	v
<b>Liste de tableaux</b>	.....	vi
<b>Nomenclature</b>	.....	vii

I.1 Introduction générale.....	1
--------------------------------	---

## **Chapitre I : Généralité sur le froid**

<b>I.1</b>	Introduction	01
<b>I.1.2</b>	Revue de littérature	01
<b>I.1.3</b>	Méthodologie expérimentale	02
<b>I.2</b>	Historique du froid	04

<b>I.2.1</b>	Modes de production du froid et applications	05
<b>I.3</b>	Quelques définitions éléments de physiques	06
<b>I.3.A</b>	La chaleur	06
<b>I.3.B</b>	La chaleur sensible	06
<b>I.3.C.</b>	La chaleur latente	06
<b>I.3.D</b>	La température	07
<b>I.3.E</b>	L'enthalpie	08
<b>I.3.F</b>	La puissance	08
<b>I.3.G</b>	La pression	08
<b>I.4</b>	Le changement d'état	08
<b>I.5.</b>	. Procèdes de production de froid	09
<b>I.5.1</b>	Mélange réfrigérant	09
<b>I.5.2</b>	Détente d'un gaz comprimé	09
<b>I.5.3</b>	Evaporation d'un liquide pur	09
<b>I.6</b>	Machine frigorifique	10
<b>I.7</b>	Cycle frigorifique	11
<b>I.8</b>	Composants principaux d'un circuit frigorifique	11
<b>I.8.1.</b>	Le fluide frigorigène	12
<b>I.8.1.1</b>	Caractéristiques fondamentales d'un fluide frigorigène	13
<b>I.8.2</b>	Compresseur	13
<b>I.8.3.</b>	Condenseur	14

<b>I.8.4</b>	Détendeur	15
<b>I.8.5</b>	Evaporateur	15
<b>I.9</b>	Cycle de compression de vapeur – Cycle de réfrigération	16

## **Chapitre II : comparaison entre les fluides frigorigènes**

<b>II.1</b>	Introduction.	20
<b>II.1.2</b>	Objectifs	20
<b>II.1.2.1</b>	Définition de fluide frigorigène	21
<b>II.2.2</b>	Différentes catégories des fluides frigorigènes	21
<b>II. 2.2.1</b>	Les frigorigènes naturels	22
<b>II. 2.2.2</b>	Les frigorigènes anthropiques.	22
<b>II. 2.2.3</b>	Chlorofluorocarbures(CFC)	22
<b>II. 2.2.4</b>	Hydrochlorofluorocarbures (HCFC)	22
<b>II.2.2.5</b>	Hydrofluorocarbures(HFC)	23
<b>II.2.3</b>	Classification des fluides frigorigènes	23
<b>II.2.3.1</b>	Les composés inorganiques	23
<b>II.2.3.2</b>	Les composés organiques	24
<b>II.2.3.2.A</b>	Les corps purs	24
<b>II.2.3.2.B</b>	Les mélanges	25
<b>II.2.3.2.C</b>	Les hydrocarbures	25
<b>II.2.4</b>	<i>Nomenclature</i>	26
<b>II.2.5.1</b>	Critères techniques	26

<b>II.2.5.1.1</b>	Propriétés thermodynamique	26
<b>II.2.5.1.2</b>	Le coefficient de performance	28
<b>II.2.5.1.3</b>	Sécurité	29
<b>II.2.5.1.4</b>	Toxicité	30
<b>II.2.5.1.5</b>	Inflammabilité	30
<b>II.2.5.2</b>	Critères économiques	32
<b>II.2.5.3</b>	Critères écologiques	33
<b>II.2.6</b>	Les classes de réfrigérants	34
<b>II.2.6.1</b>	Les réfrigérants naturels	34
<b>II.2.6.2</b>	Les réfrigérants halogénés	35
<b>II.2.6.3</b>	Mélanges azéotropiques et azéotropiques	35
<b>II.2.6.3.1</b>	Un mélange azéotropique	35
<b>II.2.6.3.2</b>	Mélange azéotropique	35
<b>II.2.7</b>	Les séries de fluides frigorigènes	36
<b>II.2.8</b>	Critères de substitution	39
<b>II.2.8.1</b>	Les fluide de substitution.	41
<b>II.2.9.</b>	Qualités d'un bon fluide frigorigène	41
<b>II.3</b>	Le réfrigérant R410A	42
<b>II.3.1</b>	Généralités	42
<b>II.3.2</b>	Caractéristiques techniques	42
<b>II.3.3</b>	Caractéristiques environnementales	43
<b>II.3.4</b>	application	43
<b>II.3.5</b>	Lubrifiants	43

<b>II.4</b>	Le réfrigérant R32	46
<b>II.4.1</b>	Généralité	46
<b>II.4.2</b>	Caractéristiquesetapplications	46
<b>II.4.3</b>	Applications	47
<b>II.4.4</b>	Conditionsdeserviceettravail	47
<b>II.4.5</b>	Lubrifiants	48
<b>II.4.5.1</b>	Donnéesenvironnementales	48
<b>II.4.6</b>	Sécurité	48
<b>II.4.7</b>	Toxicitéetstockage	49
<b>II.4.8</b>	Composants	49
<b>II.4.9</b>	Propriétésphysiques	49
<b>II.5</b>	Comparaison entre R32 et R410a	54
<b>II.5</b>	La différence entre R410A et R32	54
<b>II.5.2</b>	Sécurité	55
<b>II.5.3</b>	Respect de l'environnement	57
<b>II.5.4</b>	Efficacité énergétique	57
<b>II.5.5</b>	Economique	57

### **Chapitre III : Equipement de climatiseur**

<b>III.1</b>	Introduction.	59
--------------	---------------	----

<b>III.2</b>	Principe de fonctionnement d'un climatiseur.	59
<b>III.3</b>	Différents types de climatisation.	61
<b>III.4</b>	Comment bien choisir son climatiseur.	62
<b>III.4.1</b>	Choisir en fonction du climat.	62
<b>III.4.2</b>	Choisir en fonction de l'espace.	62
<b>III.4.3</b>	Choisir une clim en fonction du bruit.	63
<b>III.5.</b>	Types de climatiseurs.	63
<b>III.6</b>	Éléments d'un climatiseur.	65
<b>III.7</b>	Mettre en service une climatisation.	66
<b>III.8</b>	Comment régler la température d'une climatisation réversible.	66
<b>III.9</b>	Grilles d'air neuf et de rejet	67
<b>III.10</b>	Position des bouches	68
<b>III.11</b>	Principes de diffusion d'air	69
<b>III.11.1</b>	Diffusion de l'air par mélange	69
<b>III.11.2</b>	Diffusion de l'air par déplacement	70

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

<b>IV.1</b>	Méthodologie expérimentale	72
<b>IV.2</b>	Analyse des paramètres de performance.	73
<b>IV.3</b>	Calcul de la puissance d'un évaporateur mesurée sur site.	74

<b>IV.3.1</b>	Evaporateur (en Watts).	74
<b>IV.3.2</b>	La puissance du compresseur.	74
<b>IV.4</b>	Résultat et discussion.	75
	Conclusion	76
	Annexe 01	81
	Annexe 02	83
	Référence bibliographique	85

---

# Liste des figures

---

<b>Figure I.1</b>	Considerations relatives à la conception du system.	<b>02</b>
<b>Figure I.2</b>	P-h Diagram for refrigeration cycle.	<b>03</b>
<b>Figure I.3</b>	Changemen d'états de la matière	<b>09</b>
<b>Figure I.4</b>	Diagrammed dénergétique d'une machine frigorifique	<b>10</b>
<b>Figure I.5</b>	Schema de base d'une machine frigorifique	<b>12</b>
<b>Figure I.6</b>	Schéma du Aspiration du gaz (Aspiration et Refoulement)	<b>13</b>
<b>Figure I.7</b>	Schéma du compresseur (Aspiration et Refoulement	<b>14</b>
<b>Figure I.8</b>	Condensereur	<b>15</b>
<b>Figure I.9</b>	détendeur type capillaire	<b>15</b>
<b>Figure I.10</b>	Evaporateur	<b>16</b>
<b>Figure I.11</b>	Cycle de compression de vapeur	<b>17</b>
<b>Figure 1I.1</b>	Montre la circulation du fluide (évaporation et condensation) dans un cycle de base de réfrigération à des différentestempératures et pressions	<b>27</b>
<b>Figure 1I.2</b>	Cycle frigorifique théorique: a-Cycle frigorifique de base, b- Principederéfrigération	<b>28</b>
<b>Figure 1I.3</b>	présente un exemple d'une courbe isothermes représentant le glissement d'un mélange azéotropique	<b>38</b>
<b>Figure 1I.4</b>	présentdiagrammeenthalpique du réfrigérant R410a	<b>45</b>
<b>Figure 1I.5</b>	présentdiagrammeenthalpique du réfrigérant R32	<b>53</b>
<b>Figure 1I.6</b>	bouteille de gazréfrigérant R410A – R32	<b>54</b>
<b>Figure III.1</b>	Climatiseur individuel	<b>60</b>

<b>Figure III.2</b>	Unité intérieure	<b>60</b>
<b>Figure III.3</b>	Plaques de fixations	<b>60</b>
<b>Figure III.4</b>	Les coupleurs rapides	<b>60</b>
<b>Figure III.5</b>	Isolants	<b>60</b>
<b>Figure III.6</b>	Unité extérieure	<b>61</b>
<b>Figure III.7</b>	Câble de liaison frigorifique	<b>61</b>
<b>Figure III.8</b>	Boitier multi-branchement	<b>61</b>
<b>Figure III.9</b>	Tube d'évacuation..	<b>61</b>
<b>Figure III.10</b>	Climatiseurs monobloc à tuyau unique	<b>65</b>
<b>Figure III.11</b>	Climatiseurs monobloc à double tuyau	<b>65</b>
<b>Figure III.12</b>	Climatiseurs split mobiles	<b>65</b>
<b>Figure III.13</b>	Climatiseurs à fenêtre	<b>65</b>
<b>Figure III.14</b>	Climatiseurs mural	<b>65</b>
<b>Figure III.15</b>	Climatiseur bibloc mobile.....	<b>65</b>
<b>Figure III.16</b>	Grilles d'air	<b>67</b>
<b>Figure III.17</b>	Bouche en soufflage et aspiration	<b>69</b>
<b>Figure III.18</b>	Diffusion de l'air dans une pièce	<b>70</b>
<b>Figure III.19</b>	Circulation de l'air	<b>71</b>
<b>Figure IV.1</b>	Cycle d'unité expérimentale	<b>72</b>
<b>Figure IV.2a</b>	Unité ouverte.	<b>73</b>
<b>Figure IV.2b</b>	Unité fermée	<b>73</b>
<b>Figure IV.3</b>	Cycle de compression de vapeur théorique	<b>74</b>

<b>Figure IV.4</b>	Variation de la capacité de réfrigération avec la température d'évaporation	<b>75</b>
<b>Figure IV.5</b>	Variation de la puissance du compresseur avec la température d'évaporation	<b>76</b>
<b>Figure IV.6</b>	Effet de la température de l'air ambiant sur la capacité de réfrigération	<b>76</b>
<b>Figure IV.7</b>	Effet de la température de l'air ambiant sur le coefficient de performance (COP)	<b>77</b>
<b>Figure IV.8</b>	Effet de la température de l'air ambiant sur la puissance du compresseur.	<b>78</b>
<b>Figure IV.9</b>	Effet de la température de l'air ambiant sur le rapport de pression.	<b>79</b>

---

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau I.1</b>	Propriétés du réfrigérant.	<b>4</b>
<b>Tableau I.2</b>	Fluides frigorigènes.	<b>12</b>
<b>Tableau II.1</b>	Fluides INORGANIQUES.	<b>24</b>
<b>Tableau II.2</b>	FLUIDES HYDROCARBURES.	<b>25</b>
<b>Tableau II.3</b>	le faible et le frottement toxique.	<b>31</b>
<b>Tableau II.4</b>	COMPOSES INORGANIQUES.	<b>31</b>

<b>Tableau II.5</b>	COMPOSENT ORGANIQUES (HYDROCARBURES).	<b>31</b>
<b>Tableau II.6</b>	HYDROCARBURES HALOGENES.	<b>34</b>
<b>Tableau II.7</b>	Les critères de substitution	<b>36</b>
<b>Tableau II.8</b>	Fluides frigorigènes	<b>39</b>
<b>Tableau II.9</b>	Propriétés du mélange frigorigène R410A	<b>44</b>
<b>Tableau II.10</b>	Sécurité	<b>48</b>
<b>Tableau II.11</b>	Propriétés physiques des fluides frigorifiant	<b>57</b>
<b>Tableau II.12</b>	Présente le différent fluide et c'est composant	<b>47</b>
<b>Tableau IV.1</b>	Spécifications de l'unité de test du climatiseur.	<b>47</b>

## Nomenclature

T	Température	°C
h	Enthalpiesspécifique	Kj/kg
S	Entropies	j/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	
λ	Conductivité thermique	W/m.K
k	Coefficient de transmission thermique	W/m <sup>2</sup> .k
Φ	Flux de chaleur	W
Wc	Travail massique du compresseur	Kj/kg
R	Resistance thermique	W/m <sup>2</sup> .k

## **Abréviations**

### **Abréviations**

HP  
BP  
COP  
EER  
ODP  
Comp  
GWP  
HCFC  
HC  
Th

### **Désignation**

Haute pression  
Base pression  
Coefficient de performance  
coefficient d'efficacité frigorifique  
Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone  
Compresseur  
Potentiel de réchauffement climatique  
HydrochloroFluro Carbon  
Hydrocarbon  
Thermomètre

## INTRODUCTION GENERALE

Le froid est devenu une source d'énergie essentielle dans notre société à cause de leurs différentes applications, tels que : le froid domestique, le refroidissement des procédés industriels, etc.

La production du froid est au cœur de deux principales menaces pour l'environnement, en effet, pour leur fonctionnement, l'utilisation de fluides frigorigènes qui ont généralement des impacts néfastes : le phénomène de l'appauvrissement de la couche d'ozone et le réchauffement climatique qui sont les deux problèmes très polémiques de ces dernières années. Les chlorofluorocarbures (CFC), ainsi que les hydrochlorofluorocarbures (HCFC), considérés jusqu'aux années 80 comme des réfrigérants « miracles » en raison de leurs excellentes propriétés physiques, ne peuvent plus être utilisés en raison de leur capacité d'autodestruction de la couche d'ozone stratosphérique.

Les contraintes environnementales énoncées lors du protocole de Montréal (protection de la couche d'ozone) et de Kyoto (protection du climat), nécessitent de trouver des fluides de remplacement (les HFC et les fluides naturels tels que l'ammoniac). Le fluide frigorigène idéal n'existe pas, pour cela on essaye d'utiliser des molécules à très faible durée atmosphérique (GWP) car ces molécules ne soient nitoxiques, ni inflammables. 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. D'autres facteurs, telle la consommation énergétique, le bruit, et le refroidissement. Le réfrigérant CFC et HCFC R22 est l'un des réfrigérants importants utilisés dans la climatisation partout dans le monde.

Les chercheurs ont pensé à produire d'autres réfrigérants purs ou mélanges de fluides frigorigènes qui possèdent un ODP nul et un GWP très faible ou nul également. Ces réfrigérants de remplacement étaient choisis principalement car ils avaient des profils pression-température similaires à ceux qu'ils ont remplacés. Pour combler le vide laissé par l'élimination de certains réfrigérants du type CFC et les (HCFC).

Le contexte de ce travail sur le plant expérimental et d'après plusieurs données obtenues, Les produits étudiés sont des mélanges (binaires et ternaires) des composés R32, R125 et R134a (qui sont des HFC) d'intérêt très actuel pour les industries de la climatisation et la réfrigération. Sur l'aspect modélisation, plusieurs approches ont été abordées.

Nous nous sommes intéressés particulièrement dans ce travail sur l'utilisation de ces mélanges dans le domaine du froid le R410A (mélange azéotrope de R125, et R32), ou le R32 Difluorométhane car le R32 est une substance réglementée Protocole de Montréal. Cette fois, c'est le réchauffement climatique qui est le moteur de l'évolution. En effet, le R410A n'est pas mauvais pour la couche d'ozone mais c'est un puissant gaz à effet de serre. Son niveau de PRG s'élève à 2087,5 ce qui est particulièrement élevé (le PRG pour Potentiel de Réchauffement Global, est l'indice qui permet de mesurer l'impact d'un gaz sur le réchauffement climatique compte tenu de sa durée de vie et de ses propriétés radiatives). En comparaison le PRG du R32 s'élève à seulement 675.

Notre objectif, dans ce travail, l'élaboration d'un outil de calcul des propriétés thermodynamiques de ces deux mélanges à partir d'une recherche des modèles et méthodes disponibles actuellement et permettant de reproduire le plus fidèlement et régulièrement possible les propriétés thermodynamiques des mélanges réfrigérants sélectionnés pour l'étude.

Le chapitre I ; présente généralités sur le froid

Le chapitre II est consacré à une étude de comparaison des fluides frigorigènes

Le chapitre III présente les équipements du climatiseur individuel.

Le chapitre IV présente une analyse expérimentale des performances d'un prototype de climatiseur à l'aide de trois réfrigérants R32 et son remplaçant R410A et R22.

Finalement le travail est clôturé par une conclusion générale.



**CHAPITRE I**  
**GENERALITE**  
**SUE LE FROID**

## I.1 Introduction

Un fluide frigorigène (ou réfrigérant) est un fluide qui permet la mise en œuvre d'un cycle frigorifique. Il peut être pur ou être un mélange de fluides purs présents en phase liquide, gazeuse ou les deux à la fois en fonction de la température et de la pression de celui-ci. Le fluide absorbe la chaleur à basse température et basse pression, puis libère la chaleur à une température et une pression plus élevée, généralement par un changement d'état. Les fluides frigorigènes sont utilisés dans les systèmes de production de froid (climatisation, congélateur, réfrigérateur, etc.), comme dans les systèmes de production de chaud par pompes à chaleur. Ces mêmes fluides peuvent tout aussi bien se retrouver dans d'autres applications mettant en œuvre d'autres cycles thermodynamiques, tel que, par exemple, les turbines à vapeur, et perdent alors ou non, suivant le contexte, leur qualificatif de fluide frigorigène. [1]

### I.1.2 Revue de la littérature

Pour rechercher une alternative (groupe HCFC) au réfrigérant 22, une étude approfondie de la littérature a été menée pour divers réfrigérants alternatifs qui sont utilisés avec système de réfrigération à compression de vapeur. James M. Clam dans cet article de recherche, l'auteur a déclaré l'importance de la réfrigérants écologiques de la prochaine étape selon le Montréal et les accords du protocole de Kyoto. L'auteur conclut qu'il n'y a pas de réfrigérant idéal qui convient à tous les applications.

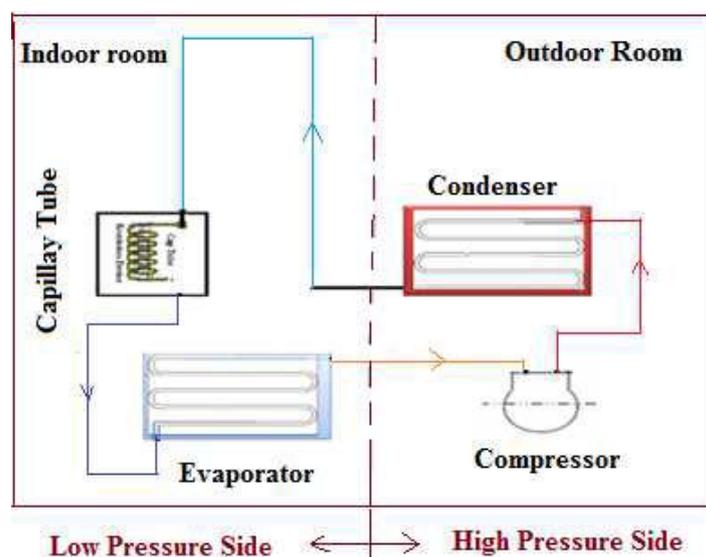
**Cavallini A**, a mené des expériences en utilisant l'ozone réfrigérants amicaux et comparé les performances caractéristiques d'un système de réfrigération à compression de vapeur par quatre réfrigérants différents comme, 125, R134a, R143a et R152a dans son enquête, le coefficient R152a de les performances sont bonnes par rapport aux trois autres réfrigérants et r152a a zéro ODP et très faible global potentiel de réchauffement. La communauté mondiale a cherché pour les fluides frigorigènes alternatifs, le compresseur majeur le fabricant envisage de convertir 50% en R410A et 50% en R32 d'ici 2015, pour les secteurs commerciaux pour l'air ambiant Conditionner 85% en R410 et 15% L'Indonésie prévoit d'interdire l'importation de HCFC en 2013 et la production de HCFC en 2015 [7-13] A également décidé d'utiliser R32 au lieu de R410A. Kuwait est intéressé par R32 et a demandé un contact

avec **Daikin. Koweït** fait une évaluation conjointe des performances du R32 sous haute température ambiante avec **Daikin** comme représentant des pays du Moyen-Orient. Dans de nombreux les documents de recherche traitent de la comparaison des performances pour différents paramètres comme la phase R22 vers le bas de l'existant système de climatisation [2]

### I.1.3 -Méthodologie expérimentale

Un climatiseur de fenêtre est essentiellement un ensemble fermé conçu pour être une unité compacte principalement pour le montage dans une fenêtre, à travers le mur. L'unité de test à l'étude est placée dans l'ouverture selon les spécifications de telle sorte que la section de rejet de chaleur se trouve dans la pièce extérieure et la chaleur la section d'absorption se trouve dans la pièce intérieure pour un test de refroidissement. Le L'unité de test sera alimenté dans le test intérieur et extérieur chambre. Les deux salles de test sont enfermées séparément dans une autre pièce isolée appelée espace aérien contrôlé. Les composants de base d'un climatiseur de fenêtre [3] sont comme suit :

1. Compresseur, 2. Condenseur, 3. Evaporateur et 4. Détendeur



*Figure 1. Considérations relatives à la conception du système.*

La figure 1 montre l'importance d'une bonne conception du système lorsque des compresseurs hermétiques sont utilisés sur des appareils, Les compresseurs ne peuvent pas être surestimés, car le moteur et le montage du compresseur dans le compresseur hermétique nécessite contenant des variables mécaniques, électriques et

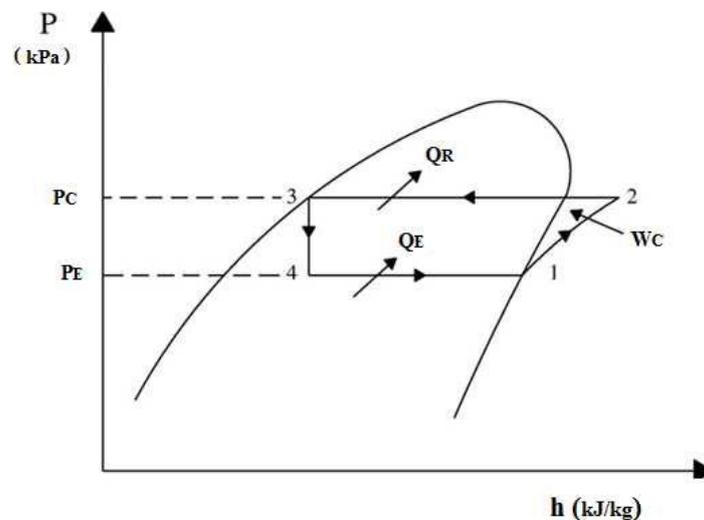
thermodynamiques dans les limites spécifiées pour un fonctionnement sûr et sans problème. Le diagramme P-h (diagramme de Moeller) pour le cycle de réfrigération qui est montré dans la figure 2 avec quatre processus de base sont fréquemment utilisé dans l'analyse de la compression de vapeur Cycle de réfrigération, le processus 1 à 2 est la compression, le processus 2 à 3 rejets de chaleur dans le condenseur, processus 3 à 4 Expansion (Étranglement) et le processus 4 à 1 est l'évaporation, c'est-à-dire la chaleur absorbée dans l'évaporateur. Les caractéristiques de performance sont calculables pour le travail du compresseur ( $W_c$ ), Effet de réfrigération ( $Q_E$ ) et coefficient de performance (FLIC).  $COP = (h_1 - h_4 / h_2 - h_1)$

$h_1$  et  $h_2$  sont des enthalpies de réfrigérant à l'entrée et à la sortie de compresseur

(kJ / kg).

$h_3 = h_4$  sont des enthalpies de réfrigérant à l'entrée et à la sortie de détendeur

(kJ / kg).



**Figure 2.** P-h Diagram for refrigeration cycle.

**Tableau 1.** Propriétés du réfrigérant [15]

<i>Réfrigérant</i>	<i>Composition</i>	<i>Point d'ébullition normale</i>	<i>Température critique</i>	<i>GWP (100 ans)</i>
R22	Fluide pure	-40.8	96.2	1700
R410A	R32 (50%) R125 (50%)	-51.5	72.5	1725
R32	Fluide pure	-48.3	78.1	675

## 1.2 Historique du froid

Produire du froid est un procédé relativement récent à l'échelle historique. Durant l'antiquité, Grecs et Romains conservaient le froid hivernal sous forme de neige ou de glace stockée dans des abris souterrains isolés à l'aide de paille ou de foin, ce qui permettait de rafraîchir les boissons et la nourriture même pendant l'été. C'est durant cette même période de l'histoire que l'on découvrit que l'on pouvait obtenir des températures plus basses en mélangeant de la glace pilée et du sel marin. Plus récemment, au XIX<sup>ème</sup> siècle, la production de froid se développa très rapidement avec l'avancement des connaissances en électricité. [4]

- 1805 : La première machine frigorifique à compression d'éther est imaginée par l'Américain Evans ;
- 1835 : Un autre Américain, Perkins, réalise à Londres le premier circuit frigorifique avec de l'éther comme fluide frigorigène. Cette machine, qui fabrique de la glace, n'a pas retenu l'attention des industriels. L'industrie du froid ne prend son essor que plusieurs dizaines d'années plus tard, notamment avec l'emploi des moteurs électriques ;
- 1844 : Création de la machine frigorifique à air ;
- 1859 : Apparition de la première machine frigorifique à absorption ;
- 1913 : Le premier réfrigérateur domestique fait son apparition ;
- 1919 : La marque Frigidaire fait son apparition ;
- 1928 : Découverte des molécules de CFC 12 par MedleyHenné de la division Frigidaire de General Motors ;
- 1931 : La fabrication industrielle commence avec Electrolux ;
- 1950 - Démocratisation des réfrigérateurs ;

- 1964 : Les réfrigérateurs à 2 portes font leurs apparitions ;
- Années 70 : Les appareils s'accessoirisent : lumière, différents compartiments ;
- Années 80 : Apparitions des premiers réfrigérateurs combinés et des appareils bimoteurs ;
- Années 90 : De nouveaux gaz plus propres sont utilisés ;
- Années 2000 : Le véritable défi devient l'environnement.

### **I.2.1 Modes de production du froid et applications**

La production du froid qui consiste à absorber la chaleur contenue dans un milieu peut être obtenue suivant plusieurs modes. De même, les applications du froid sont très variées. Parmi les différentes modes de production du froid, il faut retenir : la sublimation d'un solide (cas du  $\text{CO}_2$ ) la détente d'un gaz comprimé la fusion d'un corps solide le refroidissement thermoélectrique la dissolution de certains sels la désaimantation adiabatique la vaporisation d'un liquide en circuit fermé. La sublimation d'un solide consiste à le faire passer de l'état solide à l'état vapeur par absorption de chaleur, le cas le plus courant est celui du  $\text{CO}_2$  qui à la pression atmosphérique a une température de sublimation de  $-78.9^\circ\text{C}$ . La détente d'un gaz comprimé repose sur le principe de l'abaissement de la température d'un fluide lors de sa détente (avec ou sans travail extérieur). Cependant, cet abaissement est plus important lors de la détente sans travail extérieur (détente Joule -Thomson : étranglement à travers une vanne) mais il ne faut pas perdre de vue que le refroidissement du gaz détendu aura lieu seulement dans le cas où sa température avant la détente serait inférieure à la température d'inversion de l'effet Joule -Thomson. La fusion d'un corps solide se fait à température constante par absorption de la chaleur latente de fusion du corps considéré, ce procédé discontinu bien que simple présente l'inconvénient de nécessiter une congélation préalable à moins que cet état ne soit disponible à l'état naturel. Le refroidissement thermoélectrique (effet Peltier) est utilisé pour produire de très petites quantités de froid. Il consiste à faire passer un courant continu dans un thermocouple constitué de conducteurs de natures différentes reliés alternativement par des ponts de cuivre. La dissolution d'un sel dans l'eau provoque un abaissement de la température de la solution. Ce n'est pas un phénomène très utilisé dans l'industrie frigorifique à cause de la nécessité de vaporisation ultérieure de l'eau (récupération du sel). Par exemple, le mélange de neige (4 parties) et de potasse (3 parties) fait baisser la température de la solution de 0

°C à 40°C. La désaimantation adiabatique consiste en une réorganisation du cortège électronique d'un corps, ce qui permet l'obtention de très basses températures (10<sup>-2</sup> à 10<sup>-6</sup> K). La vaporisation d'un liquide permet de produire du froid par l'absorption de la chaleur à travers un échangeur (évaporateur).[5]

Pour production de froid il ya deux type :

- La production d'une force motrice ou « travail ».
- La production de froid ou la revalorisation de la chaleur.

### I.3. Quelques définitions élémentaires de physiques

#### I.3.A La chaleur

La chaleur est une forme d'énergie (énergie de mouvement des molécules) qui va d'un point chaud (température plus élevée) vers un point froid (température moins élevée). C'est la sensation perçue par nos organes de sens lorsque nous sommes placés devant un corps incandescent par exemple.

L'unité de la chaleur est en Joule (J) mais le kilo Calorie (kcal) est également utilisé.

La chaleur échangée par deux corps en contact est :

$Q = mc (T_{finale} - T_{initiale})$  pour chaque corps.

$Q$  : en joule (J) ou en calorie (cal)

c : chaleur massique du corps en J/°K kg

m : masse du corps en kg

#### I.3.B. La chaleur sensible

La chaleur sensible modifie la température d'une matière. Par opposition à la chaleur latente qui modifie l'état physique d'une matière (solide, liquide ou gazeux).

Exemple : La chaleur thermique massique de l'eau étant en moyenne de 4,19 kJ/kg.K, il faut fournir 419 kJ pour chauffer un litre d'eau de 0°C à 100°C.

$$Q = mc (T_{finale} - T_{initiale}) \quad (I.01)$$

#### I.3.C. La chaleur latente

La chaleur latente change l'état physique d'une matière. Par opposition à la chaleur sensible qui modifie la température d'une matière.

Quelle que soit la matière, on parle de :

- Chaleur de liquéfaction : chaleur nécessaire pour passer de l'état solide à l'état liquide,
- Chaleur de vaporisation : chaleur nécessaire pour passer de l'état liquide à l'état gazeux.

Et inversement :

- Chaleur de condensation : chaleur nécessaire pour passer de l'état gazeux à l'état liquide,
- Chaleur de solidification : chaleur nécessaire pour passer de l'état liquide à l'état solide.

Les changements d'état absorbent des quantités de chaleur nettement plus élevées que les processus d'échauffement ou de refroidissement dans les plages de température usuelles en chauffage ou climatisation.

Certains matériaux sont sélectionnés pour l'importance de leur chaleur latente à un niveau de température déterminé : ce sont les matériaux à changement de phase, ou sels à changement de phase.

$$Q = mL$$

Q : en joule (J) ou en calorie (cal)

M : masse du corps en kg L : en J/kg

### **I.3.D. La température**

On appelle température la grandeur physique qui mesure le degré de chaleur d'un corps ou d'un milieu. Lorsque deux corps sont placés dans une enceinte adiabatique, le corps le plus chaud cède de la chaleur au corps le plus froid, jusqu'à ce que les deux corps aient la même température. On dit alors qu'on a atteint l'équilibre thermique. La température est une propriété thermodynamique du corps et mesure l'agitation microscopique de la matière. Selon la théorie cinétique, la température d'un corps est fonction de l'énergie cinétique moyenne de translation de ses molécules. L'énergie cinétique d'un corps est nulle à une température appelée zéro absolu. Les températures dans le S.I. sont exprimées en degrés Celsius (°C) mais dans la littérature, on rencontre les degrés Fahrenheit (°F) et les degrés Kelvin (°K)[6]

### **I.3.E L'enthalpie**

L'enthalpie représente une énergie contenue dans un fluide ou plus exactement l'énergie totale gagnée ou perdue par un fluide au cours du cycle frigorifique. Elle s'exprime en kJ/kg (Kilojoule/Kilogramme de fluide), sur le diagramme on retrouve l'échelle des enthalpies en abscisse.

### **I.3.F La puissance**

La puissance est le rapport de l'énergie fournie ou absorbée sur l'unité de temps. L'unité légale est le Watt (W).

### **I.3.G La pression**

L'unité légale de la pression est le Pascal (Pa) qui est égal à la pression uniforme exercée par une force de 1 N (Newton) sur une surface de 1 m<sup>2</sup>.

L'unité de pression couramment utilisée par les frigoristes est le Bar et il faut distinguer :

Les appareils de mesure des pressions (appelés manomètres) sur les systèmes frigorifiques qui sont gradués généralement en pression relative (par rapport à la pression atmosphérique)

Les appareils de mesures du vide (appelés vacuomètres) sur les systèmes frigorifiques qui sont gradués en pression absolue (par rapport au vide absolu).

## **I.4 Le changement d'état**

La maîtrise des deux états de la matière que sont la phase liquide et la phase vapeur est primordiale en froid.

Le changement d'état se définit comme la phase de transformation d'une phase vers une autre phase.

La figure 1 donne les différents changements d'état possibles de la matière.

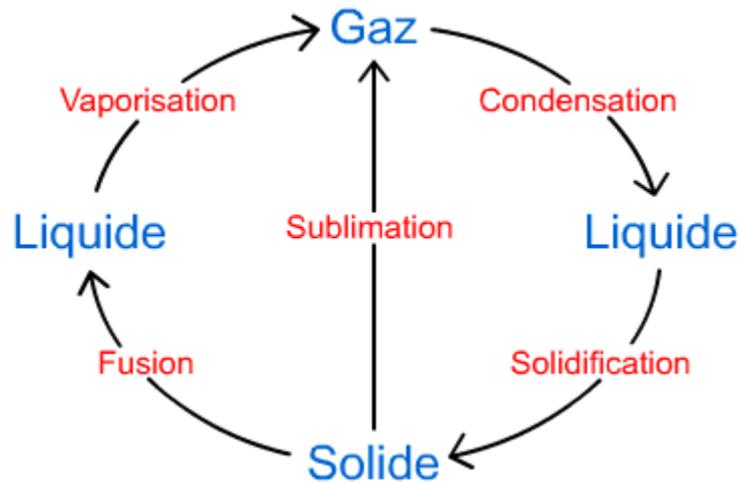


Figure 03 : Changements d'états de la matière. [4]

## I.5. Procède de production de froid

Il existe trois (3) procédés de production de froid

- 1) Les mélanges réfrigérants.
- 2) La détente d'un gaz comprimé.
- 3) L'évaporation d'un liquide pur.

### I.5.1 Mélange réfrigérant

La dissolution de certains sels nécessitant un apport de chaleur, cette dissolution produira donc du froid :

Eau + Azotate d'ammonium  $+4,4^{\circ}\text{C}$  à  $-15^{\circ}\text{C}$  ;

Neige + Chlorure de sodium  $0^{\circ}\text{C}$  à  $-25^{\circ}\text{C}$  ;

Neige + Acide chlorhydrique  $0^{\circ}\text{C}$  à  $-32^{\circ}\text{C}$  ;

+ Chlorure de calcium  $0^{\circ}\text{C}$  à  $-41,5^{\circ}\text{C}$  ;

- Glace carbonique + chlorure de méthyle, jusqu'à  $-82^{\circ}\text{C}$ . [7]

### I.5.2 Détente d'un gaz comprimé

C'est sur ce principe que fonctionnent les machines permettant la liquéfaction des composants de l'air (azote, oxygène, néon, etc....)

### I.5.3 Evaporation d'un liquide pur

Ce moyen reste le seul utilisé pour les besoins industriels et domestiques, en réfrigération, en congélation et en conditionnement d'air. L'évaporation d'un liquide pur donne lieu à trois types de machine frigorifique :

- machines à évaporation et compression d'un gaz liquéfiable ;
- machines à absorption ;
- machines à évaporation d'eau.

### I.6 Machine frigorifique

Une machine frigorifique, est une machine thermodynamique destinée à maintenir un local ou un milieu à une température inférieure à celle du milieu environnant.

C'est donc un système qui transfère des calories d'un milieu à bas niveau de température vers un milieu où la température est supérieure.

L'écoulement naturel de la chaleur s'effectuant toujours d'un corps chaud vers un corps froid, donc on peut définir également la machine frigorifique comme un matériel permettant de réaliser l'écoulement de chaleur inverse du sens naturel, c'est-à-dire d'un milieu froid vers un milieu plus chaud. Une dépense d'énergie sera bien entendu inévitable pour réaliser ce transfert inverse. L'énergie nécessaire pour assurer le transfert doit être inférieure à l'énergie calorifique utile pour que le système ait un quelconque intérêt. [8]

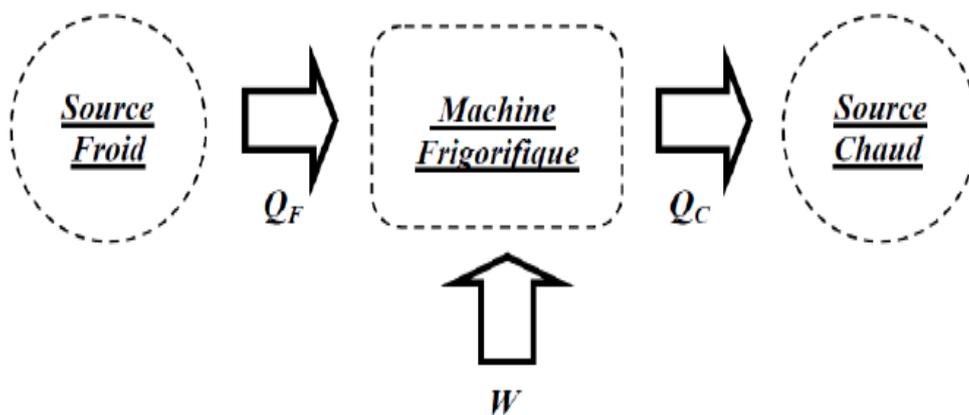


Figure 04: Diagramme énergétique d'une machine frigorifique [4]

## I.7 Cycle frigorifique

Le cycle frigorifique est un cycle thermodynamique. Il permet d'abaisser la température d'un milieu relativement froid (la source froide) et simultanément d'augmenter la température d'un autre milieu relativement chaud (la source chaude) au moyen d'une dépense d'énergie mécanique.

Il est notamment utilisé dans les réfrigérateurs ou les pompes à chaleur.

## I.8 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.

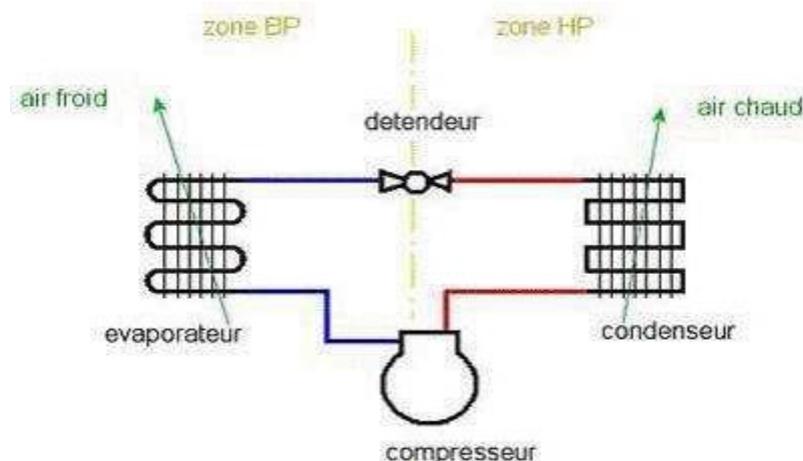


Figure 05 : Schéma de base d'une machine frigorifique. [4]

### I.8.1. Le fluide frigorigène

Un **fluide frigorigène** (ou réfrigérant) est un fluide pur ou un mélange de fluides purs présents en phase liquide, gazeuse ou les deux à la fois en fonction de la température et de la pression de celui-ci. C'est un agent de transmission thermique qui, dans un système frigorifique, s'évapore à basse température et à basse pression et fournit de la chaleur en se condensant à une température et pression plus élevée. Le rôle **d'un fluide frigorigène** est d'absorber de la chaleur à l'évaporateur et d'en rejeter au condenseur. Les fluides plus utilisés sont :

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

Tableau. 02 – Fluides frigorigènes

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)

Fluides	Composants	Utilisation générale
R717	Fluide pur Ammoniac (NH3)	Réglementation sévère en France : toxicité, inflammabilité Utilisé dans l'industrie
R744	Fluide pur CO2	Utilisé dans l'industrie

### I.8.1.1 Caractéristiques fondamentales d'un fluide frigorigène

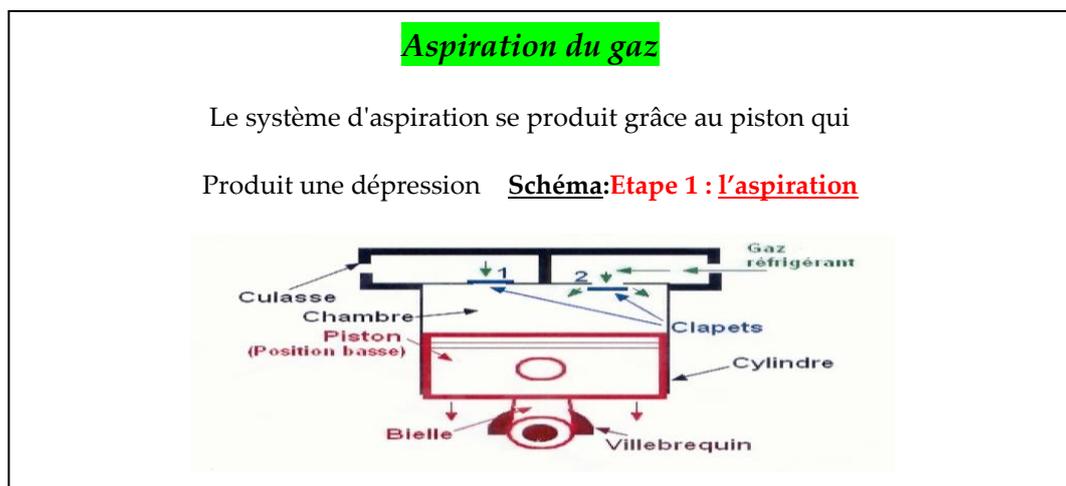
Le fluide frigorigène est une substance qui évolue dans les circuits des installations. Grace aux phénomènes endothermiques et exothermiques qui résultent des transformations qu'il subit, il permet d'absorber la chaleur à la source froide et d'en rejeter à la source chaude.

Pour qu'une substance puisse jouer le rôle d'un fluide frigorigène, il faut que:

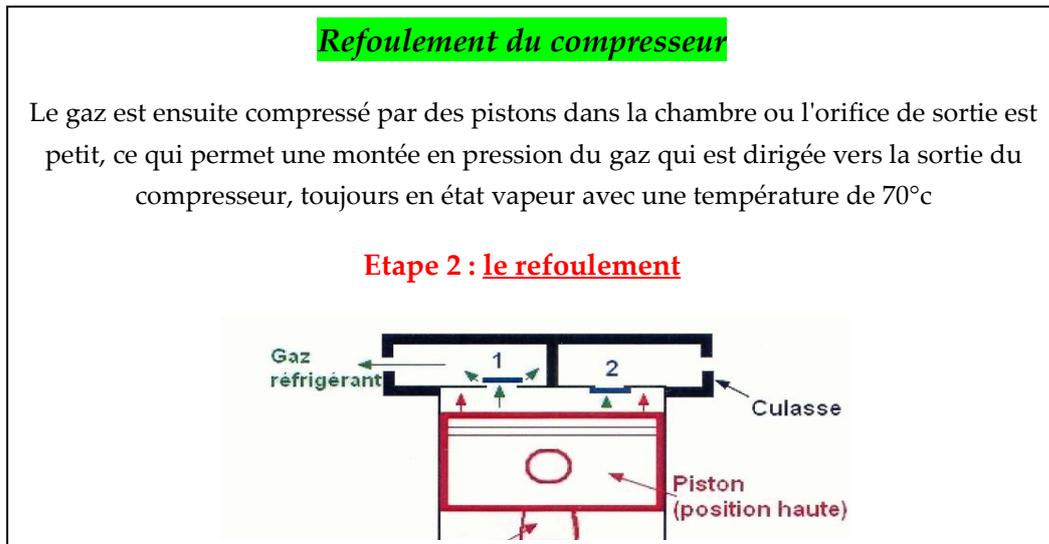
- Son point d'ébullition soit le plus bas possible à la pression atmosphérique
- La pression de condensation ne soit pas trop élevée
- Elle ne doit attaquer ni l'huile ni les métaux du circuit frigorigène
- Elle doit être peu toxique que possible, inflammable et non explosive

### I.8.2. Compresseur

Le compresseur est indispensable. Sans lui, le fonctionnement de la chambre froide est impossible. Le compresseur aspire le gaz à basse pression et à basse température. L'énergie mécanique du compresseur va permettre une élévation de la pression et de la température.



**Figure 06** Schéma de l'Aspiration du gaz. (Aspiration et Refoulement)



**Figure 7:** Schéma du compresseur (Aspiration et Refoulement) [4]

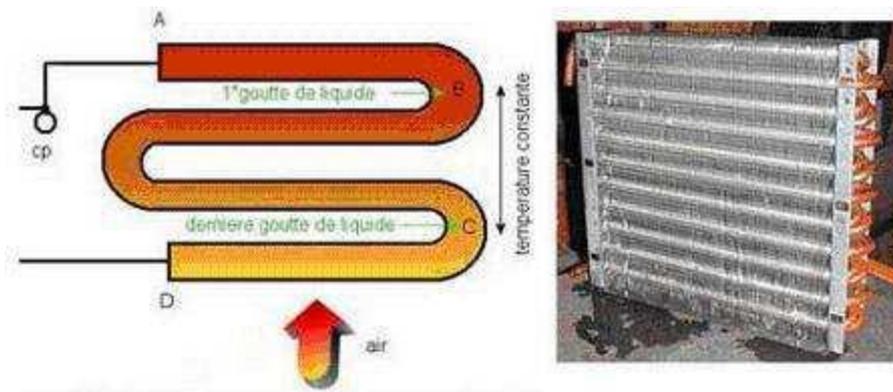
### I.8.3. Condenseur

Le condenseur est un échangeur de chaleur qui va permettre l'évacuation de la chaleur contenue dans le fluide frigorigène gazeux issu du compresseur en le liquéfiant. Cette condensation (liquéfaction) est obtenue par le refroidissement du fluide frigorigène gazeux à pression constante par un médium qui peut être de l'eau ou de l'air.

Cette évacuation de chaleur s'effectue 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)



**Figure 8 :** condenseur à air [4]

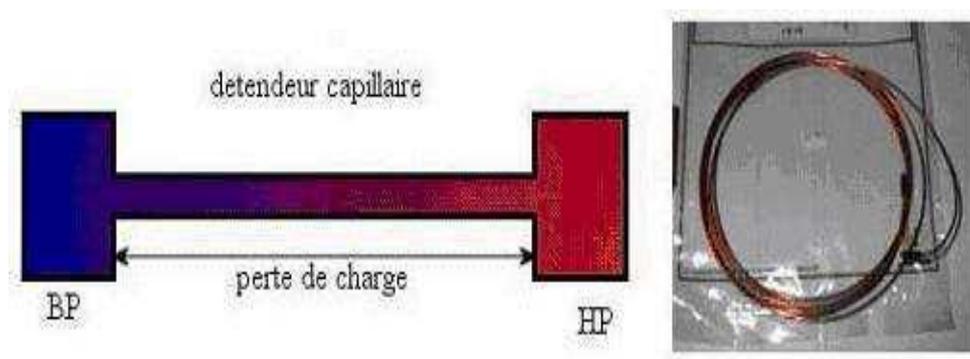
#### I.8.4. Détendeur

Le détendeur permet de réduire la pression du fluide frigorigène liquide (création de pertes de charge) issu du condenseur avant son introduction dans l'évaporateur dans le but de permettre sa vaporisation à basse température dans l'évaporateur.

Il régule aussi la quantité de fluide frigorigène liquide arrivant à l'évaporateur en fonction des besoins de "froid" (uniquement pour les détendeurs thermostatiques).

Pour les détendeurs du type capillaire (tubes capillaire), le débit du fluide frigorigène arrivant dans l'évaporateur est fonction du diamètre intérieur (de 0.6 à 1.5 mm) et de la longueur (de 1.80 à 3.50 m) du tube ainsi que de la différence de pression entre le condenseur et l'évaporateur.

C'est un dispositif de détente de la haute pression en basse pression généralement par laminage, au travers duquel le fluide frigorigène s'écoule vers l'évaporateur.



**Figure 9 :** détendeur type capillaire. [4]

#### I.8.5. 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)

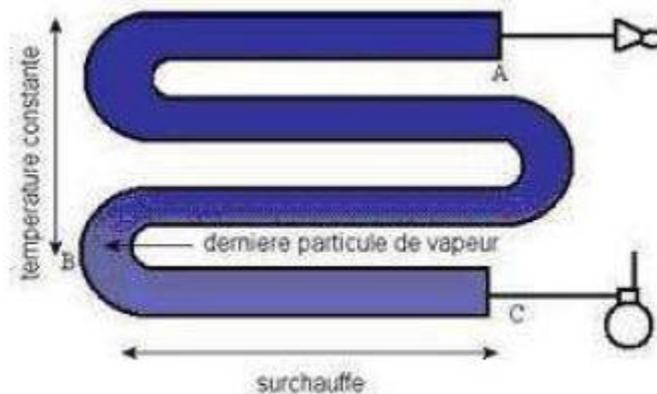


Figure 10 : Evaporateur [4]

## I.9 Cycle de compression de vapeur – Cycle de réfrigération

La compression de vapeur utilise comme fluide (généralement le R134a) un fluide frigorigène à circulation qui absorbe et élimine la chaleur de l'espace à refroidir, puis la rejette ailleurs. La figure illustre un système typique à compression de vapeur à un étage. Le système typique de compression de vapeur comprend quatre composants :

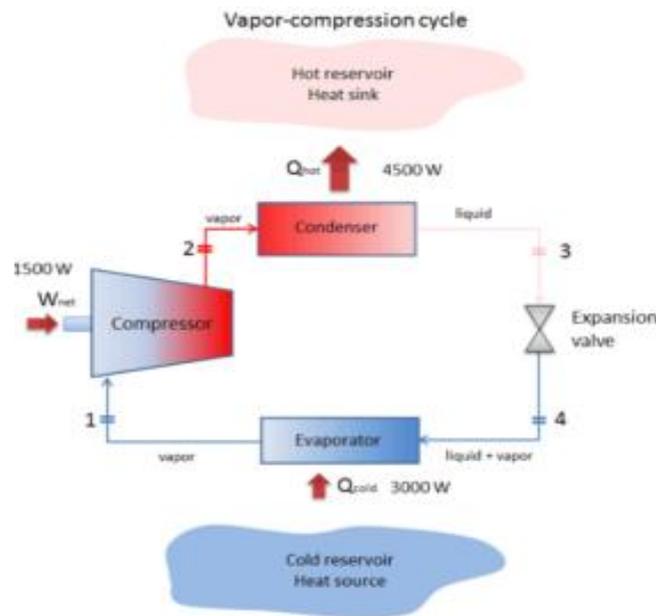


Figure 11 : Cycle de compression de vapeur

Dans un cycle de compression de vapeur idéal, le système qui exécute le cycle subit quatre processus : un processus isentropique (adiabatique réversible), un processus d'étranglement alternant avec deux processus isobares :

- **Compression isentropique** (compression dans le compresseur à piston) – Un réfrigérant en circulation, tel que le R134a, pénètre dans un compresseur sous forme de vapeur à basse pression à une température légèrement inférieure à la température de l'intérieur du réfrigérateur. Le milieu gazeux est comprimé de manière adiabatique de l'état 1 à l'état 2 par un compresseur à piston (ou par des pompes centrifuges) à une pression et à une température relativement élevée. Les environs travaillent sur le gaz, augmentant son énergie interne (température) et le comprimant (augmentant sa pression). Par contre, l'entropie reste inchangée. Le travail requis pour le compresseur est donné par  $W_C = H_2 - H_1$ .
- A. **Rejet de chaleur isobare (dans un condenseur)**
- B. – La vapeur surchauffée voyage sous pression à travers des serpentins ou des tubes qui composent le condenseur. Dans cette phase, le réfrigérant passe à travers le condenseur, où il se condense et la chaleur est transférée du réfrigérant à l'environnement plus frais. La chaleur nette rejetée est donnée par  $Q_{re} = H_3 - H_2$ . Lorsque le réfrigérant quitte le condenseur, celui-ci est

toujours sous pression mais il ne dépasse que légèrement la température ambiante.

- C. **Procédé isenthalpique** (détente dans un détendeur) – Le réfrigérant à l'état 3 pénètre dans le détendeur et se dilate à la pression de l'évaporateur. Ce processus est généralement modélisé comme un processus de régulation pour lequel l'enthalpie reste constante.  $H_4 = H_3$ . La brusque diminution de la pression entraîne une évaporation instantanée ressemblant à un explosif d'une partie (généralement environ la moitié) du liquide. La chaleur latente absorbée par cette évaporation instantanée provient principalement du réfrigérant adjacent encore liquide, un phénomène connu sous le nom d'*auto-réfrigération*.
- D. **Addition de chaleur isobare (dans un évaporateur)** – Le réfrigérant froid et partiellement vaporisé continue à travers les serpentins ou les tubes de l'unité de l'évaporateur. Dans cette phase (entre les états 4 et 1), il se produit un transfert de chaleur à pression constante vers le milieu liquide à partir d'une source externe, car la chambre est ouverte aux flux entrant et sortant. Lorsque le réfrigérant traverse l'évaporateur, le transfert de chaleur de l'espace réfrigéré entraîne la vaporisation du réfrigérant. La chaleur nette ajoutée est donnée par  $Q_{\text{add}} = H_1 - H_4$

Au cours d'un cycle de compression de vapeur, les pompes effectuent un travail sur le fluide entre les états 1 et 2 (compression **isentrope**). Le fluide n'effectue aucun travail car entre les étapes 3 et 4, le processus est isenthalpique. Le fluide de travail dans un cycle de compression de vapeur suit une boucle fermée et est réutilisé en permanence

# **CHAPITR II**

## **COMPARAISON ENTRE LES FLUIDE FRIGORIGENE**

## II.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 a 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 Warning Potentiel (influence sur l'effet de serre).

Certains fluides frigorigènes ont une meilleure efficacité frigorifique que d'autres ; c'est pourquoi il est important d'évaluer leurs différences. En comparant, par exemple, le R22, le R134A et le R401A on se rend compte que, toutes choses restant égales (puissance frigorifique, températures d'évaporation et de condensation identique, ...), mais le R32 donne des meilleures performances énergétiques que le R410a par rapport au niveau de PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) de ce gaz.

### 1.2. Objectifs :

Les objectifs de ce chapitre sont les suivants :

- Avenir des fluides frigorigènes et les différentes contraintes liées au remplacement des fluides frigorigènes anciens
- Recherche du fluide frigorigène qui est performant énergétiquement et ami à l'environnement

## II.2 Généralité :

### II.2.1 Définition de fluide frigorigène

Un fluide frigorigène est une substance qui évolue dans le circuit d'une machine frigorifique et qui grâce à un phénomène endothermique consistant en un changement d'état faisant passer la substance de l'état liquide à l'état gazeux dans un évaporateur, permet de produire du froid par retrait de chaleur, celle-ci étant évacuée hors de la machine par un phénomène exothermique consistant en un changement d'état inverse du précédent. C'est-à-dire faisant passer la substance de l'état gazeux à l'état liquide. [1]

Dans un circuit frigorifique, le fluide frigorigène véhicule deux éléments :

- a. Les calories, Celles-ci sont captées au niveau de l'évaporateur et du compresseur. Elles sont ensuite évacuées au niveau du condenseur.
- b. L'huile du compresseur, ou encore appelé cum (en anglais). En effet, l'huile du compresseur est utile pour les autres organes du circuit frigorifique afin d'améliorer l'étanchéité du circuit.

Le fluide frigorigène permet les échanges de chaleur dans un système frigorifique par ses changements d'état que sont l'évaporation et la condensation.

Il peut se définir comme une substance chimique dont la température d'évaporation à la pression atmosphérique est inférieure à la température ambiante, autrement dit le fluide frigorigène doit être liquide à cette ambiance. [1]

### II.2.2 Différentes catégories des fluides frigorigènes

Les fluides frigorigènes peuvent être classés en quatre grandes familles :

- Les fluides inorganiques purs : eau, ammoniac, CO<sub>2</sub>... ;
- Les hydrocarbures : butane, isobutane, propane, propylène ;
- Les hydrocarbures halogénés :  
Chlorofluorocarbures (CFC),  
Hydrofluorocarbures (HFC)

Hydrochlorofluorocarbures (HCFC)

Les perfluorocarbures (PFC) ;

- autres fluides, utilisés de façon assez rare : éthers oxydes, alcools, composés trihalogénés, fluorés et chromés.
- le CO<sub>2</sub>, abandonné lors de la découverte des gaz fluorés et de leurs propriétés, mais il est de nouveau utilisé aujourd'hui.

### **2.2.1 Les frigorigènes naturels :**

Tel que l'eau, dioxyde de carbone, hydrocarbures (méthane, propane), ammoniac, dioxyde de soufre, etc.

L'utilisation de ces fluides entraîne, pour des raisons de sécurité humaines et de respecter l'environnement. Certains de ces fluides sont inflammables (hydrocarbure), toxiques (SO<sub>2</sub>) ou les deux en même temps (NH<sub>3</sub>). D'autre part, ils sont facilement disponibles, peu coûteux et leur influence sur l'environnement est limitée mais non nulle (ex: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>,...) et sont des mauvais fluides thermodynamiques.

### **2.2.2 Les frigorigènes anthropiques :**

Il s'agit de substances chimiques qui sont créées par l'être humain pour améliorer et compenser les inconvénients des fluides naturels. Les chercheurs dérivent des alcanes tels que CH<sub>4</sub> et C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> par substitution de H par F et Cl. Les anciens frigorigènes (1930 à 1975) sont :

### **2.2.3 Chlorofluorocarbures (CFC) :**

Sont des composés de carbone, de fluor et de chlore, et non hydrogénés (ex: R 11 CFC<sub>13</sub>, R 12 CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>). Ils sont très stables et ont une grande durée de vie dans l'atmosphère (durée de vie entre 50 et 250 ans).

### **2.2.4 Hydro chlorofluorocarbures (HCFC)**

Sont des CFC hydrogénés, ils sont moins stables (ex : R 22 CHF<sub>2</sub>Cl). Ils sont appelés substances de transition.

Les CFC et HCFC sont des gaz contenant du chlore et ce chlore détruit la couche d'ozone par une réaction chimique en chaîne. On peut dire ou de conclure que ces derniers sont la cause principale d'appauvrissement de la

couche d'ozone. Dans la stratosphère, ils se transforment en libérant leur chlore qui réagit avec l'ozone et ils ont également un impact sur l'effet de serre.

### **2.2.5 Hydrofluorocarbures (HFC)**

Sont des composés de carbone, de fluor et d'hydrogène. Ils sont apparus comme substitués des CFC et HCFC. Ils sont appelés substances de substitution. Les HFC possèdent des propriétés techniques similaires à celles des CFC permettant de les utiliser comme fluides réfrigérants (ex : corps purs R134a (CF<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>F), mélanges azéotropes R404A, mélanges azéotropes R507)].

CFC, HCFC et HFC sont des bons fluides thermodynamiques, peu actifs chimiquement et offrant toute sécurité pour les personnes puisqu'ils sont non toxiques et non inflammables sauf ceux avec beaucoup de H.

## **II.2.3 Classification des fluides frigorigènes**

Les fluides frigorigènes obéissent à une classification qui permet une désignation précise de chaque fluide. Cette classification est effectuée sur la base de critères différents suivant la famille ou la sous-famille de fluides considérés. Les fluides frigorigènes sont divisés en deux grandes familles qui sont :

- Les composés inorganiques
- Les composés organiques

### **II.2.3.1 Les composés inorganiques**

Les fluides de cette famille sont ceux de la série 700.

Le fluide le plus utilisé de cette famille est l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et il est désigné par R717.

R : désigne Réfrigérant.

Le 7 des centaines désigne la série 700

Le 17 représentant les deux derniers chiffres, désigne la masse molaire du corps (14 pour L'azote )

« N » et 3 pour l'hydrogène « H ».

Autres exemples de composés inorganiques :

L'eau (H<sub>2</sub>O) : R718

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) : R744 [4]

**Tableau. 01** – Fluides INORGANIQUES

FLUIDES INORGANIQUES		
R717	R718	R744

### **.2.3.2 Les composés organiques :**

Les composés organiques sont des dérivées du méthane (CH<sub>4</sub>) et de l'éthane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>). [4]

Ils se divisent en trois sous-familles :

- Les corps purs
- Les mélanges (de corps purs)
- Les hydrocarbures

#### **A/ Les corps purs**

Les corps purs se regroupent en trois sous-groupes suivant leur composition chimique :

- Les CFC (chlorofluorocarbone) – exemple le R12
- Les HCFC (hydro chlorofluorocarbone) – exemple le R22
- Les HFC (hydrofluorocarbure) – exemple le R134a et le R32

La caractéristique principale d'un corps pur est qu'il se condense et s'évapore à température et pression constante.

Les molécules des CFC sont complètement halogénées.

Ceux des HFC ne contiennent aucun atome de chlore.

**B/ Les mélanges**

Les mélanges se regroupent en deux sous-groupes que sont :

Les mélanges azéotropiques qui se comportent comme des corps purs.

Les mélanges des fluides azéotropiques sont des fluides frigorigènes de la série 500.

**Exemple : R502**

Les mélanges azéotropiques qui ne sont pas des corps purs.

Les mélanges des fluides azéotropiques sont des fluides frigorigènes de la série 400.

**Exemple : R404A** (mélange de 52% de R143a, de 44% de R125 et de 4% de R134a)

**C/ Les hydrocarbures :**

Les fluides frigorigènes de type hydrocarbure provient essentiellement du raffinage du pétrole mais également du dégazolinage (récupération de l'hydrocarbure liquide) du gaz Naturel. Ce sont essentiellement le R600 (butane), le R600a (isobutane) et le R290 (propane) qui est le plus utilisé. Contrairement aux autres fluides frigorigènes, les hydrocarbures sont hautement inflammables.

Les fluides de cette famille peuvent être composés :

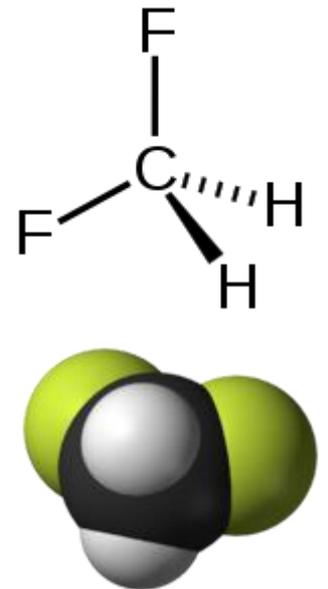
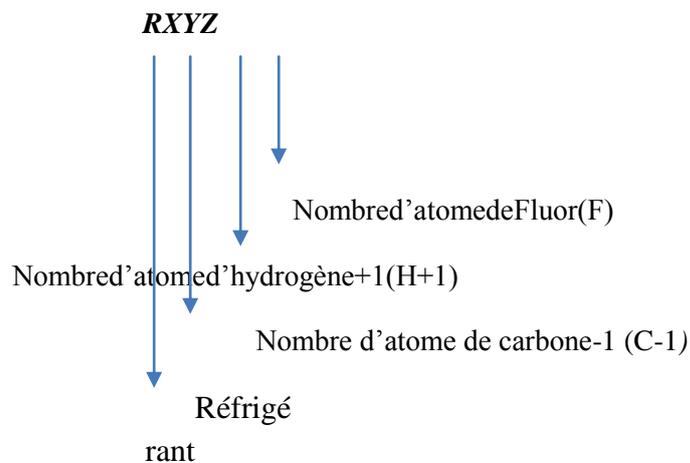
- de butane
- d'isobutane
- de propane
- de cyclopropane
- le propylène

*Tableau2 : FLUIDES HYDROCARBURES*

FLUIDES HYDROCARBURES				
RC270	R290	R600	R600a	R1270

## II.2.4 Nomenclature

La nomenclature des fluides frigorigènes est donnée par la norme ANSI/ASHRAE 34 [6]. La codification  $R_{XYZ}$  des fluides suit des règles précises et permet dans la plupart des cas de déduire la nature et même la formule chimique du fluide [3-6]:



**CFC** R-XYZ/C,F,Cl;H=0, exemple: R11, R12, R114, R115.

**HCFC** R-XYZ/C,H,F,Cl;H≥0, exemple: R123, R124, R141a, R142b.

**HFC** X=0 et Y+Z=5, exemple: R32, R23.

X=1 et Y+Z=7, exemple: R134a, R125, R152a, R143a.

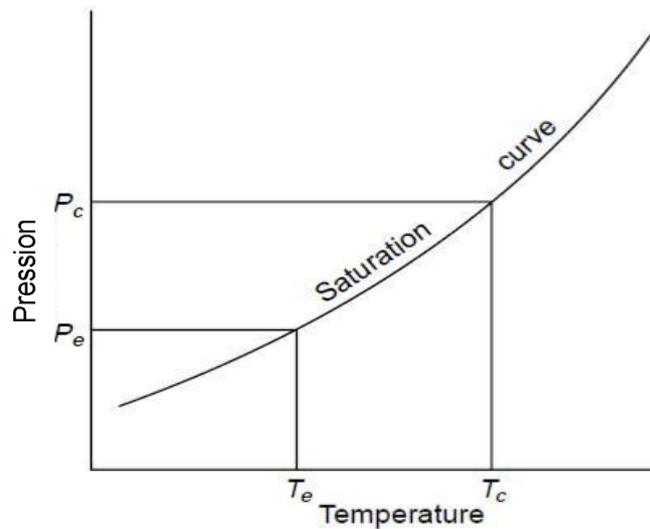
### II.2.5.1 Critères techniques

#### II.2.5.1.1 Propriétés thermodynamique :

La quantité de froid produit par volume de réfrigérant, permet de voir l'impact théorique de la substitution du réfrigérant sur la puissance frigorifique de l'installation. Elle se détermine en multipliant l'enthalpie d'évaporation par la densité de vapeur à l'entrée du compresseur et varie en fonction de la température d'évaporation. Il est conseillé de vérifier la variation de puissance frigorifique avant la substitution : dans le cas d'un écart minime, celui-ci peut être compensé par un sous-refroidissement du réfrigérant à sa sortie du condenseur.

A - Cycle de base à compression de vapeur

Dans ce type de production de froid le liquide a subi le phénomène d'ébullition et de condensation. Le changement d'états liquide – vapeur se fait à une température qui dépend de sa pression, dans les limites de son point de congélation et de sa température critique. En phase d'évaporation, le fluide consomme la chaleur latente d'évaporation et en phase de condensation la chaleur latente doit être rejetée. Le transfert de chaleur de zones de température inférieures à celles des températures plus élevées est appelé réfrigération [2]



**La Figure 11.1** montre la circulation du fluide (évaporation et condensation) dans un cycle de base de réfrigération à des différentes températures et pressions.

Les appareils qui produisent le froid sont appelés réfrigérateurs et les cycles sur lesquels elles opèrent sont appelés cycles de réfrigération. Plus, les fluides de travail utilisés dans les réfrigérateurs sont appelés les fluides frigorigènes.

Cette technologie est employée dans différentes applications industrielles.

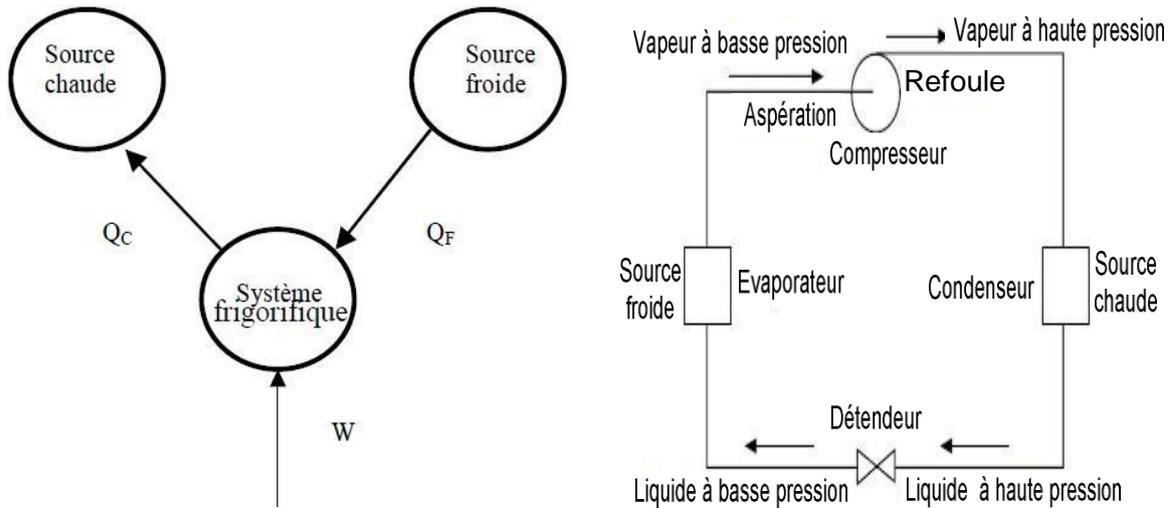


Figure 1.2. Cycle frigorifique et héroïque: a- Cycle frigorifique de base, b- Principe de réfrigération

### II.2.5.1.2 Le coefficient de performance :

Un aperçu de la variation de l'efficacité énergétique du système due à la substitution du fluide peut être obtenu en comparant le coefficient de performance (COP) théorique des deux fluides. Cependant, il est important de noter que cette méthode ne tient pas compte de toutes les propriétés du réfrigérant ou de l'installation. Elle ne peut donc servir qu'en première approximation ou la comparaison entre différents fluides.

$$COP = \frac{\text{énergie thermique utile}}{\text{dépende énergétique}} = \frac{Q_f}{w}$$

Le cycle à compression de vapeur utilise l'énergie pour déplacer l'énergie, le rapport de ces deux quantités peut être utilisé directement comme une mesure de performance du système. Ce rapport est le coefficient de performance, qui a été exprimé par Nicolas Léonard Sadi Carnot en 1824 pour un cycle réversible idéal entre deux sources de chaleur, connu sous le nom « cycle de Carnot ». Celui-ci est composé de quatre transformations réversibles, deux isentropes adiabatiques et deux isothermes, de Crit comme suit [3] et [4]:

- Procédé 1-2: Évaporation du fluide.

- Procédé 2-3 : Compression du fluide (isentropique).
- Procédé 3-4 : Condensation du fluide.
- Procédé 4-1 : Détente isenthalpique.

$T_F$  : température de la source froide,

$Q_F$  : source froide.

$T_C$  : température de la source chaude,

$Q_C$  : source chaude.

- La pression de condensation du fluide de substitution doit pouvoir être supportée par le système (détendeur, conduites, etc.). Dans le cas, par exemple du remplacement du R32, le R410A n'est pas repris comme fluide de remplacement. En effet, pour une température de condensation de 40°C, le R32 atteint une pression de 26 bar, alors que la pression du R410A serait de 24 bar, nécessitant éventuellement le remplacement d'une grande partie des composants.
- La température critique du fluide doit être compatible avec les besoins en froid.
- La température de refoulement aux compresseurs doit tenir dans les limites tolérées par l'installation.
- La conductivité thermique du fluide, importante pour le transfert de chaleur lors de la condensation et de l'évaporation, joue particulièrement un rôle dans le cas de l'utilisation de réfrigérants zéotropes.
- Le glissement de température peut réduire l'efficacité énergétique de l'installation si les mesures adéquates n'ont pas été prises (remplacement des évaporateurs noyés, etc.).

### II.2.5.1.3 Sécurité

On s'intéresse particulièrement à ce critère lorsque la machine frigorifique est située

Dans des locaux occupés par le grand public comme les installations frigorifiques utilisées

Dans l'industrie. [5]

#### II.2.5.1.4 Toxicité

Il s'agit de la toxicité du frigorigène par inhalation de ses vapeurs. La classification des

fluides suivant leur toxicité peut être classée en deux groupes :

◆ Groupe A, peu toxiques : fluides dont la concentration moyenne est égale ou inférieure à

400 ml / m<sup>3</sup>

◆ Groupe B, fortement toxiques : fluides dont la concentration moyenne est supérieure à

400 ml / m<sup>3</sup>

Les valeurs de ces proportions acceptables peuvent se différencier réglementairement d'un pays à un autre

#### II.2.5.1.5 Inflammabilité

Des substances susceptibles de faire d'excellents fluides frigorigènes, comme les hydrocarbures, ont été rejetés en raison de leur caractère combustible. Parmi les dérivés

halogénés des hydrocarbures, ceux qui renferment encore suffisamment d'atomes d'hydrogène

dans leurs molécules sont combustibles (le R32, la famille des R140, des R150, etc.).

On évite

donc l'utilisation de ces fluides purs, mais on les rencontre dans des mélanges frigorigènes,

dilués avec des fluides incombustibles, ils ne posent aucun problème.

**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.

**Tableau 3** : le faible et le frottement toxique

	FAIBLEMENT TOXIQUE	FROTEMENT TOXIQUE
HAUTEMENT INFLAMMABLE	A3	B3
INFLAMMABLE	A2	B2
NON INFLAMMABLE	A1	B1

**Tableau4** : COMPOSES INORGANIQUES

R717	AMMONIAC	B2
R718	EAU	B2
R744	DIOXYDE DE CARBONE	A1

**Tableau5** : COMPOSENT ORGANIQUES (HYDROCARBURES)

R170	ETHANE	B2
R290	PROPANE	B2
R600a	ISO BUTANE	A1

**Tableau6** : HYDROCARBURES HALOGENES

R11	CFC	TRICHLOROFLUOROMETHANE	A1
-----	-----	------------------------	----

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

### II.2.5.2 Critères économiques

Prix du fluide frigorigène et des lubrifiants associés l'impact du point économique sur

Le choix du fluide, longtemps considéré comme mineur, voit actuellement toute importance.

Croûte. L'ammoniac, beaucoup moins dense et beaucoup moins cher que les fluides

Frigorigènes halogénés, est particulièrement économique mais son inflammabilité fait de lui

Un choix pas très intéressant. Le prix des lubrifiants associés aux fluides frigorigènes est aussi

À considérer. Les huiles polyol-esters (POE), imposées par les frigorigènes HFC et leurs

Mélanges, sont beaucoup plus chères que les huiles minérales acceptables avec les anciens

Fluides frigorigènes. [5]

### **II.2.5.3 Critères écologiques**

Jusqu'à un passé récent, l'industrie utilisait l'ammoniac, les chlorofluorocarbures totalement halogénés (CFC) ou partiellement halogénés (HCFC) ainsi que l'eau qui est

Notamment le fluide frigorigène des machines à absorption pour la climatisation. Or, les

Contraintes d'environnement ont conduit à des changements importants des règles de sélection. Pour la sélection d'un fluide frigorigène vient s'ajouter de nouvelles contraintes

Liées à l'environnement ; parmi lesquels, nous citerons que, l'ODP, le GWP et le TEWI. [5]

**ODP** (Ozone Déplétion Potentiel) : Le potentiel d'appauvrissement de la couche

D'ozone d'un réfrigérant est représenté par sa valeur ODP. Cette valeur est définie par rapport

À l'impact du R11, qui sert par convention de fluide de référence (ODP R11 =1) et rend

Compte de l'impact de l'émission d'un kg de fluide frigorigène comparé à l'impact de

L'émission d'un kg de R11. Plus la valeur d'un fluide est réduite, moins son potentiel

D'appauvrissement est grand.

**GWP** (Global Warming Potential) : Le GWP décrit le potentiel du réfrigérant sur l'effet de serre. Conventionnellement, la valeur GWP d'une substance est définie par rapport à

L'impact du CO<sub>2</sub> (GWP CO<sub>2</sub> = 1), généralement sur une période de 100 ans.

Le GWP100 donne la quantité de CO<sub>2</sub> qui aurait un effet équivalent sur l'effet de Serre, à l'émission d'un kg de fluide (à un horizon de 100 ans). En effet la durée de vie d'un

Fluide halogéné est très longue et il faut intégrer son effet sur une durée longue.

Dans l'évaluation de l'impact sur l'environnement des fluides frigorigènes, il ne suffit pas d'utiliser que le GWP. En effet, celui-ci ne représente que l'effet direct sur l'effet de serre.

A côté de cet effet direct, il existe un effet indirect lié à la consommation énergétique.

## **II.2.6 Les classes de réfrigérants**

Les fluides frigorigènes sont identifiés par une numérotation qui est définie par le Standard ASHRAE 34 et par la norme internationale ISO 817. Elle concerne aussi bien les

Fluides halogénés que les fluides naturels.

Les fluides frigorigènes actuellement utilisés peuvent être divisés en deux groupes

Principaux :

- les réfrigérants naturels
- les réfrigérants halogénés

### **II.2.6.1 Les réfrigérants naturels**

- Composés inorganiques (série 700) : sont des substances trouvées dans la nature.

- Hydrocarbures (série 600) : Les composés organiques, qui contiennent du carbone et de l'hydrogène.

L'utilisation des fluides naturels entraîne, pour des raisons de sécurité, des contraintes

Techniques souvent plus complexes que les réfrigérants halogénés, mais ils ont globalement un

Impact environnemental absolu plus réduit par rapport à ces derniers

### **II.2.6.2 Les réfrigérants halogénés**

Les fluides frigorigènes du groupe du halocarbure (hydrocarbures halogénés), c'est-à-dire les CFC, les HCFC et les HFC, sont les plus répandus au monde. Les corps halogénés

Sont utilisés à l'état pur ou en mélange azéotropiques et azéotropique. Ils assurent tous les

Niveaux de température des machines frigorifiques et des pompes à chaleur.

### **II.2.6.3 Mélanges azéotropiques et azéotropiques :**

Les CFC, HCFC et HFC sont utilisés à l'état pur ou en mélange. Dans le cas des Mélanges, nous avons les mélanges zootropes et les mélanges azéotropes :

#### **II.2.6.3.1 Un mélange azéotropique**

(Série 400) est un mélange de réfrigérant qui ne se comporte pas comme un fluide homogène lors de la condensation respectivement l'évaporation : les différentes composantes peuvent changer d'état de manière indépendante, changeant les propriétés thermodynamiques du mélange d'où l'existence d'un « glissement », à savoir qu'à une pression donnée, la température varie. Ceci peut causer le dysfonctionnement de l'installation. On caractérise un mélange azéotrope par la valeur de son glissement à une pression d'utilisation (celle d'évaporation ou de condensation). [6]

#### **II.2.6.3.2 Mélange azéotropique**

(Série 500) est un mélange de réfrigérant qui se comporte comme un fluide homogène (Corps pur) lors de la condensation respectivement l'évaporation. De plus, lorsqu'un mélange

Azéotrope présente un glissement faible (inférieur à 1°C), on parle alors de fluide Quasi azéotropique mais on le classe néanmoins toujours dans la catégorie des fluides Azéotropes (c'est le cas du R404A dont le glissement de température à 1 atm est de 0,9°C). [8]

### III.2.6. Les critères de substitution

Bien que la substitution du fluide frigorigène soit une solution moins onéreuse que le Remplacement total du système, elle n'est pas toujours possible. L'installation a été conçue

Pour un réfrigérant aux caractéristiques bien précises auxquelles celles du nouveau réfrigérant

Peuvent ne pas correspondre.

Pour éviter les problèmes liés à la substitution de fluide, les propriétés des différents Réfrigérants doivent correspondre le plus possible à celles du fluide à remplacer

**Tableau7 :Les critères de substitution**

CFC	HCFC		HFC	
R11	R21	R401A	R32	R404A
R12	R22	R402A	R125	R407C
R113	R123	R408A	R134a	R410A
R115	R124	R409A	R143a	R507
R502	R142b		R152a	

#### ➤ FAMILLE DES AUTRES FLUIDES

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

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

### II.2.7 Les séries de fluides frigorigènes

(Pour connaître la classification et les propriétés des fluides frigorigènes, voir la norme AFNOR

#### FD-35-430 1998) **SERIE R - 400**

Les fluides de la série 400 sont des mélanges zéotropiques ayant donc un glissement de température en phase latente. Lorsque le gaz atteint l'ébullition, on parle de point de rosé.

Exemples de mélanges :

le R407A est composé de R32 (20%), R125 (40%), R134a (40%)

le R407B est composé de R32 (10%), R125 (70%), R134a (20%)

le R422D est composé de R125 (64,1%), de R134a (31,5%) et de R600a (3,4%)

La numérotation est chronologique en fonction de l'acceptation des mélanges par l'ASHRAE. Pour distinguer des mélanges de même corps purs mais dans des proportions différentes, une lettre majuscule (A, B, C, D...) est ajoutée à la fin du code. Ex : R407A, R407B, R407C...

La lettre **R** devant la série signifie réfrigérant. Cela nous indique que c'est un fluide frigorigène.

La charge des fluides de la série 400 s'effectue à l'état liquide (robinet rouge sur la bouteille).

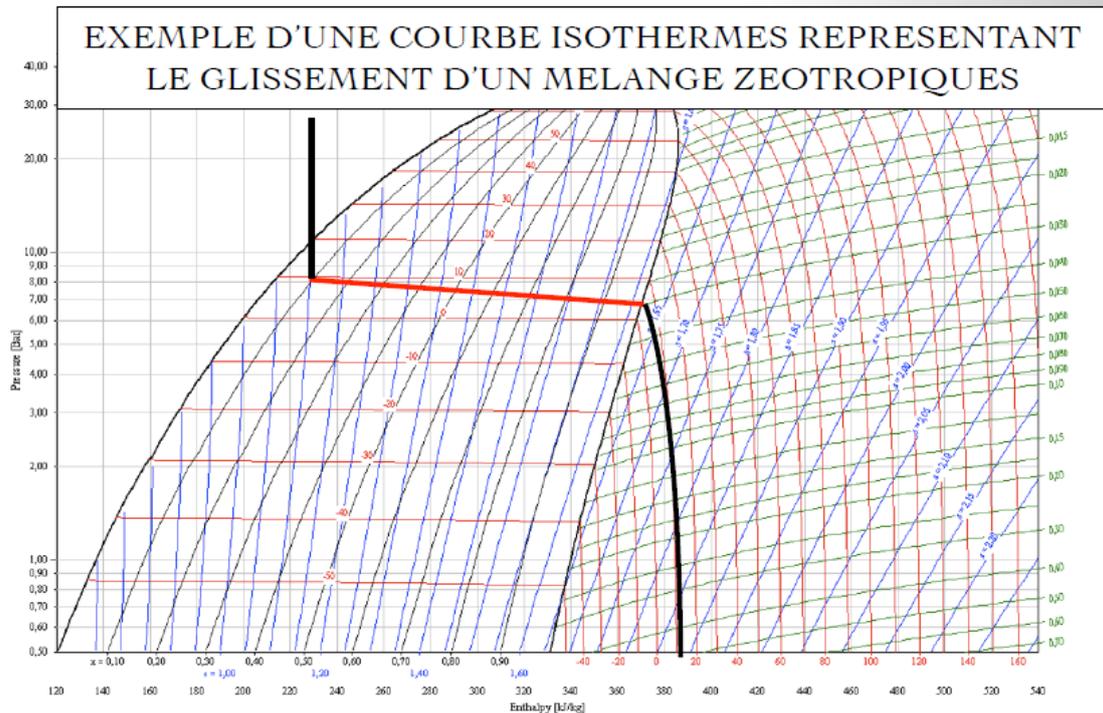


Figure 3 : présente un exemple d'une courbe isothermes représentant le glissement d'un mélange azéotropique

### SERIE R - 500

Les fluides de la série 500 sont des **mélanges azéotropiques**, n'ayant donc pas de glissement de température.

Exemple de mélange :

Le R507 est composé de R125 (50%) et de R143a (50%)

On ne parle pas de point de rosé pour les gaz azéotropiques.

Les fluides de la série 500 sont des mélanges de corps purs avec des proportions précises.

Ils se comportent comme un nouveau corps pur, sans glissement.

### SERIE R - 600

Un numéro de la série 600 est attribué aux composés organiques, les **hydrocarbures**.

Les numéros sont attribués de façon successive.

Exemples : R600 (Butane), R600a (iso butane), R610 (éthyle éther) R611 (méthyle formate)

### SERIE R - 700

Un numéro de la série 700 est attribué aux composés inorganiques : ammoniac, dioxyde de carbone.

La série commence par le chiffre 7 et les deux derniers chiffres correspondent à la masse molaire du composé. Exemple : R717 (masse molaire de l'ammoniac 17g/mol), ou encore le fluide R744 (masse molaire du dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>, 44g/mol)

#### II.2.8.1 Critères de substitution

Les fabricants des fluides frigorigènes considèrent en effet qu'à l'exception du R134a,

Il est maintenant peu probable de trouver des fluides purs qui possèdent des propriétés Thermodynamiques leur permettant d'être de parfaits substituts aux anciens fluides. En

Revanche, en mélangeant des fluides purs dans des proportions bien choisies, il est possible

D'obtenir des caractéristiques mieux.

Tableau .8 Fluides frigorigènes

Réfrigérant	Formule	Masse Molaire g/mol	Tb °C	Tc °C	Pc MPA	ODP	GWP
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	52.02	-51.7	78.1	5.78	0	650
HFC-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	120.02	-48.1	66.2	3.63	0	2800
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	102.02	-26.1	101.1	4.06	0	1300
HFC-143a	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	84.04	-47.2	72.9	3.78	0	3800
HFC-152a	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	66.05	-24.0	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
Mélange de HFC							
R-404A	R-125/143a/134a (44/52/4)	97.6	-46.6	72.1	3.74	0	3260
R-407 A	R-32/125/134a (20/40/40)	90.11	-45.2	81.9	4.49	0	1770
R-407B	R-32/125/134a (10/70/20)	102.94	-46.8	74.4	4.08	0	2290
R-407C	R-32/125/134a (23/25/52)	86.20	-43.8	87.3	4.63	0	1530
R-407D	R-32/125/134a (15/15/70)	90.96	-39.4	91.6	4.48	0	1360
R-407 <sup>E</sup>	R-32/125/134a (25/15/60)	83.78	-42.8	88.8	4.73	0	1360
R-410A	R-32/125(50/50)	72.58	-51.6	72.5	4.95	0	2100
R-507 A	R-125/143a (50/50)	98.86	-47.1	70.9	3.79	0	3300
Hydrocarbures							
RC-270	CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> (cyclopropane)	42.08	-33.5	125.2	5.58	0	
R-290	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> (propane)	44.10	-42.1	96.7	4.25	0	-20
R-600	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> (butane)	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	-11.6	134.7	3.64	0	-20
R-170	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> (propylène)	42.08	-88.6	32.2	4.87	0	-20
R-1270	CH <sub>3</sub> CH=CH <sub>2</sub>		-47.7	92.4	4.67	0	
Fluides inorganique							
R-718	H <sub>2</sub> O (eau)	18.02	100	374.2	22.1	0	<1
R-744	CH <sub>2</sub> (dioxyde de carbone)	44.01	-78.4	31.1	7.38	0	1
R-717	NH <sub>3</sub> (ammoniac)	17.03	-33.3	132.3	11.3	0	<1

Afin de remplacer les CFC et HCFC, l'industrie chimique a proposé les Hydrofluorocarbures (HFC). Ces fluides et leurs mélanges sont aujourd'hui les substituts privilégiés à tous les fluides contenant du chlore.

Cependant, bien que les HFC présentent des caractéristiques très similaires aux CFC et aux HCFC, la substitution d'un fluide par un autre ne peut être réalisée directement : les niveaux de pression, les systèmes de compression, les échangeurs de chaleur présents dans les installations frigorifiques doivent être adaptés à ce type de fluide.

Enfin, les seuls fluides de substitution purs sans inconvénient vis-à-vis de la couche d'ozone et de l'effet de serre sont les fluides non halogénés comme l'ammoniac (R 717), le propane (R 290), l'isobutane (R 600a), le gaz carbonique (R 744) et l'eau (R 818).

L'ammoniac, le butane et le propane ayant de très bonnes caractéristiques thermodynamiques, ils constituent cependant des alternatives très sérieuses, et leur usage s'est sensiblement développé au cours des dernières années.

Malgré ses performances relativement faibles et les hautes pressions qu'il demande, le gaz carbonique est étudié comme fluide pour les installations de climatisation automobile, où les risques de fuite sont élevés et remettent en cause l'utilisation du R 134a à fort GWP.

Le dernier ne peut être employé pour obtenir des températures négatives, et les cycles au R 744 ont aujourd'hui des efficacités nettement plus faibles que les autres.

### **II.2.8.2 Les fluides de substitution.**

Bien que la substitution du fluide frigorigère soit une solution moins onéreuse que le remplacement total du système, elle n'est pas toujours possible. L'installation a été conçue pour un réfrigérant aux caractéristiques bien précises auxquelles celles du nouveau réfrigérant peuvent ne pas correspondre.

Pour éviter, ou du moins limiter, les problèmes liés à la substitution de fluide (réduction de la puissance frigorigère, endommagement du système, etc.), les propriétés des différents réfrigérants à disposition doivent correspondre le plus possible à celles du fluide à remplacer [11,12].

### **II.2.9. Qualités d'un bon fluide frigorigère**

Parmi les plusieurs qualités demandées à un fluide frigorigère on rapporte les plus

Importantes cités ci-dessous :

- Basse pression supérieure à la pression atmosphérique en fonctionnement normal.
- Faible toxicité.
- Recherche des fuites faciles.
- Faible influence sur le réchauffement climatique (GWP).

De très nombreuses autres qualités sont à prendre en compte, telles que l'influence sur l'ozone et l'effet de serre, l'influence sur les composants de l'installation, la non inflammabilité, la non explosibilité, etc.

## **II.3 Le réfrigérant R410A**

### **II.3.1 Généralités**

Le R410A est un mélange de R125 et de R32, qui trouve son application dans le domaine de la climatisation et du froid positif. C'est un réfrigérant à comportement quasi-azéotropique, car son glissement de température est minime. Il est ininflammable et non-toxique.

Le R410A est un fluide de remplacement du R22 à long terme. Il est aussi un alternatif du R13B1 qui est utilisé pour les basses températures (de -70 jusqu'à -50°C). Son application dans le domaine de la climatisation et du froid positif.

### **II.3.2 Caractéristiques techniques**

L'intérêt principal du R410A est sa production frigorifique volumique élevée, ce qui permet la construction de systèmes de taille réduite (les compresseurs peuvent être de petite taille compatible avec des matériels extrêmement compacts que sont les systèmes de climatisation individuels dits Split system). Par contre, ce réfrigérant travaille à des pressions plus élevées que les fluides « classiques », d'où la nécessité d'utiliser des composants spéciaux. En effet, à l'aspiration la pression est de 8 bars pour une température de 2 °C et de 31 bars au refoulement du compresseur pour une pression de saturation de 50°C.

Son coefficient de performance théorique est du même ordre de grandeur que celui du R407C, et sa conductivité thermique est élevée (réduction de la taille des échangeurs). Sa haute température de refoulement à la sortie du compresseur est à tenir en compte lors de l'élaboration de l'installation.

Le R410A est techniquement et chimiquement stable, il est compatible avec les métaux de construction des machines frigorifiques (l'acier, le cuivre, le laiton et l'aluminium). Les alliages de zinc, magnésium, plomb et aluminium ne doivent pas dépasser une teneur molaire de magnésium de 2%. [7]-

### **II.3.3 Caractéristiques environnementales**

Comme tout nouveau fluide mis sur le marché, le R410A n'affecte pas la couche d'ozone. Son potentiel d'effet de serre est moyen par rapport à celui des autres HFC. En raison de ses différentes composantes, son potentiel d'acidification est, pour un HFC, relativement élevé, mais se situe encore en dessous du niveau de l'ammoniac. Sa contribution à la création d'ozone troposphérique est négligeable.

#### II.3.4 applications :

On retrouve particulièrement ce fluide dans les installations d'air ou derefroidissement des liquides car ils possèdent des propriétés thermodynamiques intéressantes pour ces applications.

C'est un fluide qui est tout particulièrement utilisé dans les systèmes de pompes à chaleur chauffage seul ou réversible mais également dans toutes les installations de climatisation par détente directe. Ainsi, ces types de climatisations regroupent les climatiseurs monosplit d'une puissance d'un kW aux systèmes de climatisation comprenant plusieurs unités intérieures (plusieurs dizaines) pour des puissances allant à plusieurs centaines de kW.

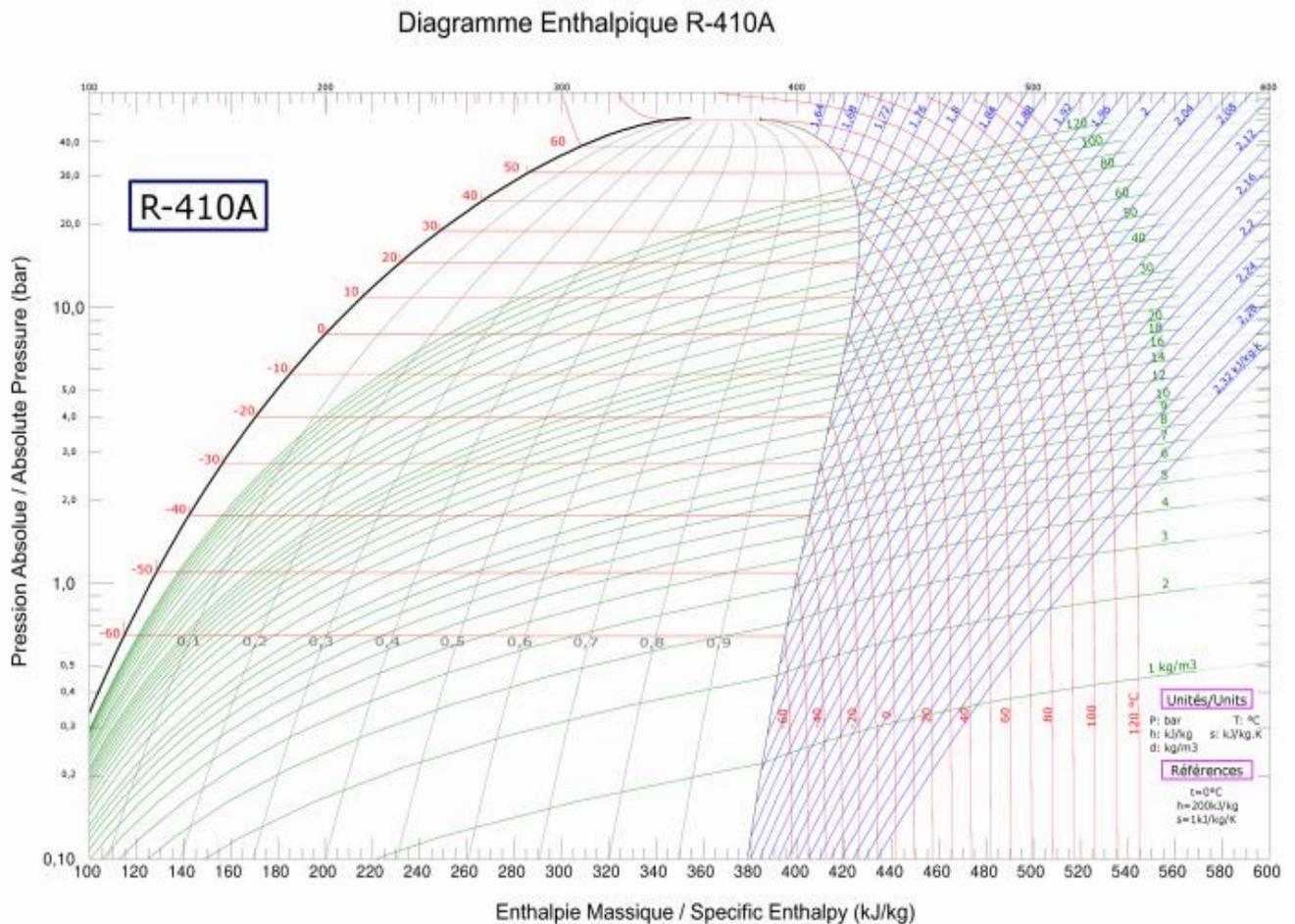
#### II.3.5 Lubrifiants :

Les huiles offrent le plus haut niveau de flexibilité car elles sont compatibles avec les fluides frigorigènes les plus couramment utilisés sur le marché. Cette flexibilité devrait aider à réduire la confusion quant aux lubrifiants et réfrigérants compatibles. Il existe de nombreux types et qualités d'huiles POE, il est donc important de comprendre que toutes les huiles POE ne sont pas identiques. Les domaines de différences comprennent le pouvoir lubrifiant, la miscibilité avec les réfrigérants, la viscosité, les ensembles d'additifs, le point d'écoulement et la teneur en humidité. Vérifiez toujours avec le fabricant du compresseur ou l'OEM du système pour trouver la qualité d'huile POE recommandée avant d'ajouter ou de changer l'huile. Les huiles POE spécifiées de manière appropriée ne nécessitent souvent pas d'additifs lubrifiants. Bien que les huiles POE offrent une variété d'avantages à utiliser avec les systèmes R-410A, il est important de les manipuler, de les installer et de les entretenir correctement.

Tableau II.9 : Propriétés du mélange frigorigène R410A [10]

	<b>R410 A</b>
--	---------------

<b>Nom Chimique / Composition</b>	R125 R 32 (50% , 50%)
<b>Type</b>	Mélange Azéotropique (HFC)
<b>Numéro Cas</b>	--
<b>Masse molaire (g/mol)</b>	72.58
<b>Température critique(C°)</b>	70.5
<b>Pression critique (Mpa)</b>	4.95
<b>Température d'ébullition a pression atmosphérique) (C°)</b>	-51.4
<b>ODP (Kg R11-equiv.)</b>	0
<b>GWP<sub>100</sub> (Kg CO<sub>2</sub>-equiv.)</b>	2100
<b>Acidification (Kg SO<sub>x</sub>-equiv.)<sub>3</sub></b>	1.28
<b>POCP (Kg Ethylène equiv)</b>	0
<b>Groupe de sécurité Valeur MAK (ppm)</b>	A1/A1 1000
<b>Autorisation d'exploitation</b>	Utilisation limitée par l'administration de l'environnement



*Figure 4 : présent diagramme Enthalpique du réfrigérant R410a*

## II.4 Le réfrigérant R32 :

### II.4.1 Généralité :

Le **R32** (Difluorométhane) est un fluide pur qui fait partie de la famille des hydrocarbures saturés (HFC). C'est une molécule de méthane composé de 2 atomes d'hydrogène et 2 atomes de fluor. Appartenant à la catégorie des gaz peu inflammables [8]

### II.4.2 Caractéristiques et applications :

Le gaz réfrigérant **R-32** est un HFC pur, qui n'appauvrit pas la

couche d'ozone et a un faible potentiel de réchauffement global. Il est utilisé sous sa forme pure dans les petits équipements de climatisation et de réfrigération et est un composant couramment utilisé dans divers mélanges de HFC.

Le **R-32** est adapté aux nouveaux équipements spécialement conçus pour le R-32, dans des applications qui auraient normalement utilisé du R-410A.

Il a un PRG (GWP) de 675, ce qui est dans les limites acceptées pour les gaz réfrigérants utilisés dans les nouveaux équipements (split) avec une charge de moins de 3 kg mis sur le marché à partir du 1/01/2025 conformément à la réglementation européenne CEN°517-2014.

Voici quelques-unes de ses caractéristiques :

- C'est un réfrigérant plus efficace sur le plan énergétique que le R-410A et son PRG (GWP) est de 675, soit 68% inférieur à celui du R-410A.
- Sa capacité de réfrigération est similaire à celle du R-22 et du R-502.
- L'équipement nécessite moins de charge de réfrigérant que le R-410A.
- Mêmes tuyauteries et lubrifiants (POE) que le R-410A.
- Classification de sécurité : A2L, faible toxicité et faible inflammabilité.

### II.4.3 Applications

- Initialement utilisé dans certains nouveaux équipements de climatisation,

il commence à être également considéré comme une alternative à basse température.

- Il a été utilisé comme composant dans des mélanges de HFC bien connus par le secteur comme le R-407C, le R-410A, le R-442A (RS-50), le R-407F, le R-453A (RS-70), etc.
- Le R-32 est classé comme inflammable, et n'est donc pas un réfrigérant conçu pour les reconversions (rétrofit) du R-410A. [9]

#### II.4.4 Conditions des services travail :

Le R-32 étant un réfrigérant pur, il peut être transféré aussi bien en phase liquide que gazeuse.

Étant un pur réfrigérant, il n'a pas de glissement (Glide) de température. En cas de fuite, l'équipement peut être rempli directement sans qu'il soit nécessaire de récupérer le réfrigérant restant dans le circuit.

#### II.4.5 Lubrifiants

Le R-32 est compatible avec les huiles polyoléster. Dans les applications de climatisation, les mêmes huiles que celle utilisées avec le R-410A seront valables pour le R-32.

REMARQUE : Selon une étude menée aux États-Unis par l'Air-conditionné and Réfrigération Technologie Institute, Inc. (USA) et publiée en 1993, il a été constaté que le R-32 n'était pas miscible dans toutes les concentrations de lubrifiant synthétique (POE) à partir de températures inférieures à  $-10^{\circ}\text{C}$ . Il est important de tenir compte de ce point pour les mélanges développés pour fonctionner à de basses températures de réfrigération. [9]

##### II.4.5.1 Données environnementales :

Le R-32 ne contenant pas de chlore, le produit a donc un  $\text{ODP} = 0$

(potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone).

Le R32 a un faible potentiel de réchauffement global (GWP), ce qui permet de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> en cas de fuites directes.

#### II.4.6 Sécurité

Le R-32 est répertorié comme légèrement inflammable selon la norme ASHRAE 34 et le projet de la norme ISO817, et ne s'enflamme que lorsque sa concentration se situe entre la limite inférieure et supérieure d'inflammabilité :

**Tableau.II-10 : Sécurité**

Concentration	Limite inférieure d'inflammabilité	Limite supérieure d'inflammabilité
R-32	13,3%	29,3%

#### II.4.7 Toxicité stockage

Le R-32 est une substance très peu toxique. L'indice de toxicité CL50 par inhalation sur 4 heures chez le rat est de 1107000 mg/m<sup>3</sup> (OCDE403) et la NOEL pour les problèmes cardiaques est d'environ 735000 mg/m<sup>3</sup> chez le chien. Les contenants de R-32 doivent être stockés dans des endroits frais et aérés, à l'écart des flammes nues et des étincelles et loin des sources de chaleur. L'exposition directe au soleil et l'accumulation de charges les plus élevées doivent être évitées. Tenir à l'écart des aliments, des boissons et des aliments pour animaux.

#### II.4.8 Composants :

Nom chimique	% en poids	N° CE	N° CAS	No. D'Enregistrement REACH
Difluorométhane (R-32)	100	200-839-4	75-10-5	01-2119471312-47-XXXX

#### II.4.9 Propriétés physiques :

**Tableau 11 : Propriétés physiques des fluides frigorigènes**

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES	UNITÉS	R-32
Formule		CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
Poids moléculaire		52.024

Densité du liquide (25°C)	Kg/l	0.9588
Température d'ébullition à 1,013 bar	°C	-51.7
Viscosité du liquide (20°C)	cP	0.121
Viscosité de la vapeur (20°C)	cP	0.012 38
Tension superficielle (20°C)	mN/m	7.0
Pression de vapeur (25°C)	Bar	16,897
Chaleur spécifique du liquide (25°C)	kJ/kg .K	1.884
Chaleur spécifique de la vapeur (25°C)	kJ/kg .K	0.826 33
Point de congélation	°C	-136
Température critique	°C	78,35
Pression critique	Bar	58.16
Densité critique	Kg/l	0.429 756
Chaleur de vaporisation au point d'ébullition (25°C)	kJ/kg	270.22
Densité de la vapeur (Air=1)		1,86
Pression de vapeur à 20°C	mm Hg	10319
Densité de la vapeur à 20°C	g/ml	0.98
Limites d'inflammation (supérieures)	% v/v	31.0 ASTM 681-85
Limites d'inflammation (inférieures)	% v/v	14.0 ASTM 681-85
Solubilité du R-32 dans l'eau à 25°C	Log	0.21
COP		95
Inflammabilité		A2L
ODP		0
GWP		675*
Toxicité		Non

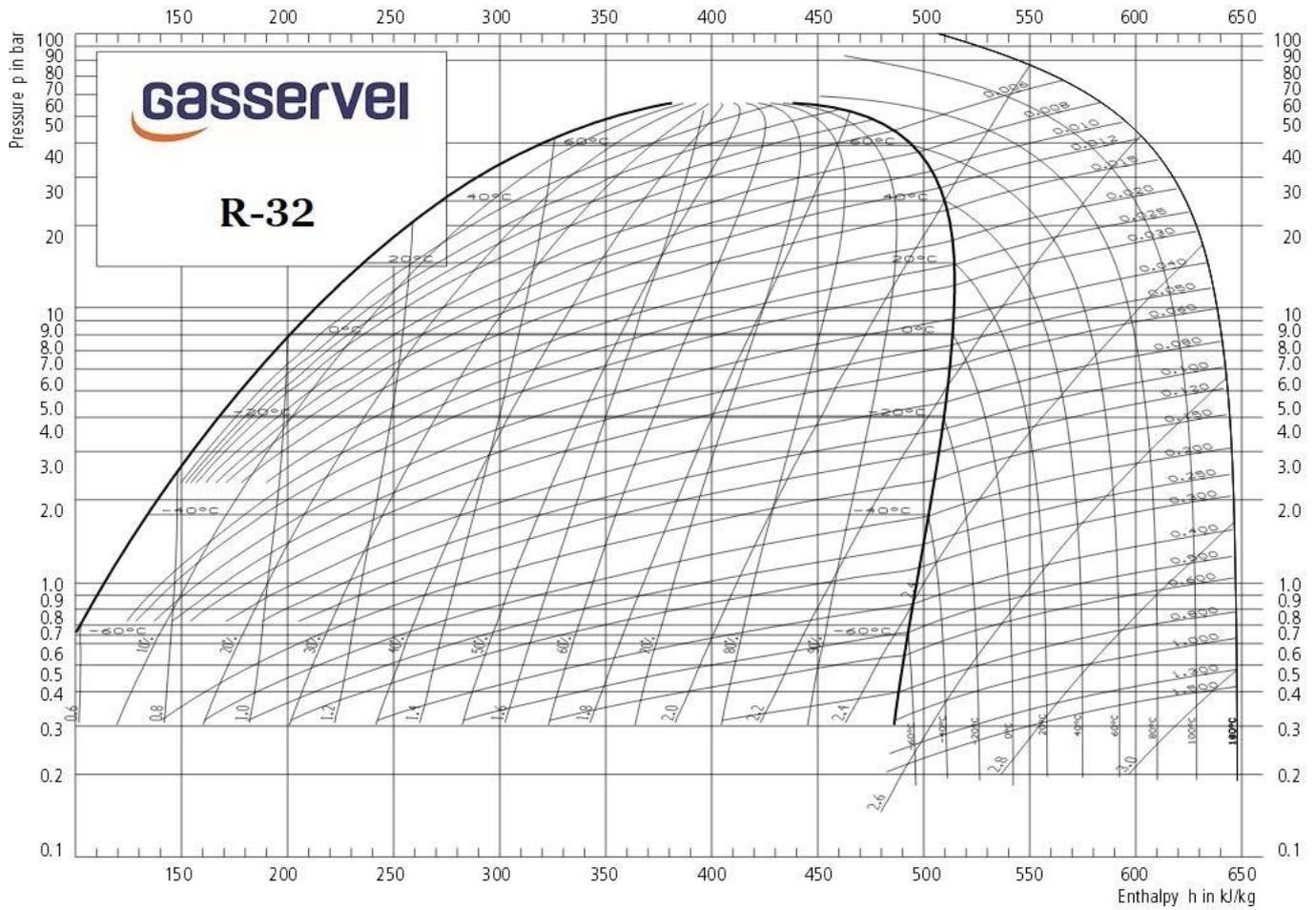


Figure 5 : présent diagramme Enthalpique du réfrigérant R32

### II.5 Comparaison entre R32 et R410a :



Figure6 : bouteille de gaz réfrigérant R410A – R32

Nous devons maintenant également choisir entre deux réfrigérants différents. Bien sûr, nous parlons du R410A bien établi et du R32 nouvellement introduit.

Nous utilisons le terme « réfrigérant » pour désigner plusieurs types de gaz que nous utilisons comme agents de refroidissement dans les climatiseurs et autres appareils similaires. Les gaz sont insolubles dans l'eau et peuvent remonter jusqu'à la stratosphère, grâce à différentes réactions chimiques.

Nous différencions les fluides frigorigènes en fonction de :

- Leur structure chimique
- Leur impact environnemental
- Le type d'appareil qui les utilise

Ce qui distingue certains réfrigérants, c'est leur impact sur notre environnement. Par exemple, le R32 et le R410A appartiennent à un groupe de gaz appelés *hydrofluorocarbures*. Leur ODP (potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone) est de 0, ce qui les rend écologiques.

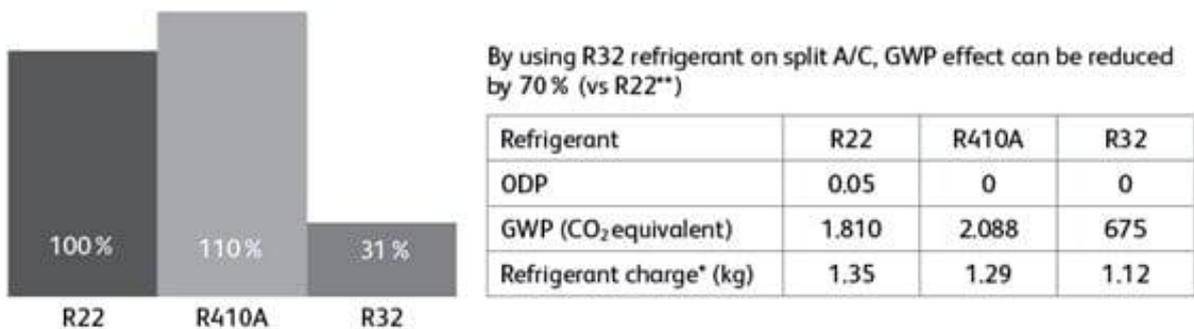
Les deux réfrigérants appartiennent au même groupe et partagent le même ODP.

Cependant, dans cet article, nous discuterons de leurs différences.

Quel est le meilleur?

### II.5.1 La différence entre R410A et R32

GWP effect \*\* (CO<sub>2</sub> equivalent kg, expressed in %)



Contrairement au R32, le R410A a une température critique basse, ce qui à son tour produit un coefficient de performance plus faible. De plus, le R32 est moins dense que le R410A.

Cela rend son montant plus petit pour une charge. Étant donné que nous mesurons le GWP par kg, le R32 affecte le climat encore moins que son GWP ne le suggère.

Les deux gaz sont également différents en termes de capacité de refroidissement volumétrique. Le R410A a un VCP élevé, ce qui nécessite des tuyaux plus grands.

Ainsi, il n'est pas aussi efficace que R32, dont le VCP est nettement inférieur. De plus, le R32 a un rapport de pression plus élevé que le R410A.

Dans l'ensemble, le R32 est beaucoup plus efficace que le R410A. Cependant, il présente également quelques inconvénients, à savoir sa température de décharge élevée.

Pour cette raison, il peut décomposer l'huile dans le système, ce qui entraîne des grippages de roulements.

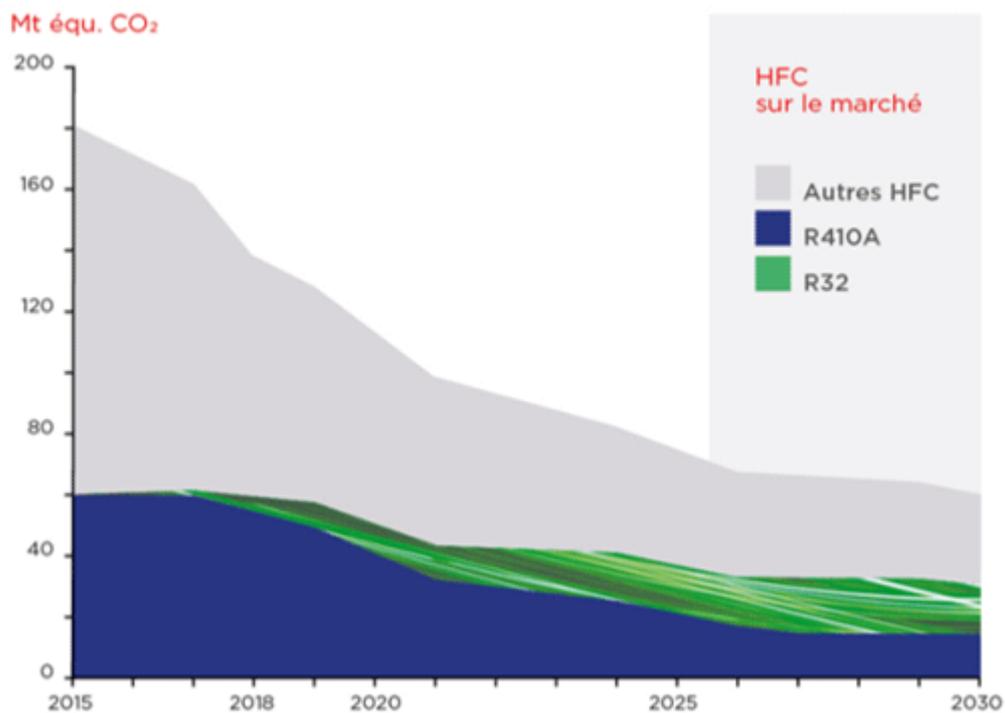


Figure : Diagramme présent variation de CO2 par rapport des années

Heureusement, il existe un moyen de limiter la température de refoulement du R32 afin que le système puisse fonctionner correctement.[10]

Les raisons du choix du R32 : il répond le mieux aux 4 critères de sélection suivants.

### II.5.2 Sécurité

- Faiblement toxique de par son classement A par rapport à d'autres gaz.
- Le R32 n'est ni hautement inflammable, ni faiblement inflammable selon la norme NF EN 378, mais seulement légèrement inflammable (Classe A2L)

### II.5.3 Respect de l'environnement

- ODP (Ozone Déplétion Potentiel) = 0 – Son impact est nul sur la couche d'ozone

- Faible GWP (Global Warming Potential) de 675 - Divisé par 3 en comparaison avec le R410A
- Fluide totalement pur, donc plus facilement recyclable

#### II.5.4 Efficacité énergétique

- Enthalpie R32 > R410A
- Performances R32 > R410A

#### II.5.5 Economique

Charge initiale - 30% vs R410A

Appoint de charge requis réduit

Coût du fluide inférieur

**Tableau 12 : Présente le différent fluide et c'est composant**

Propriété	R32	R410A
<b>Nom Chimique / Composition</b>	R32 (100%)	R125 R 32 (50% , 50%)
<b>Poids moléculaire (g/mol)</b>	52.02	72.585
<b>Température d'ébullition à 1,013 bar</b>	-51.651	-51.40
<b>Température critique °C</b>	78.105	71.35
<b>Pression critique (M pa)</b>	57. 82	47.53
<b>ODP</b>	0	0
<b>GWP</b>	675	2088

**CHAPITRE**

**III**

**EQUIPEMENT DE  
CLIMATISEUR**

### III.1 Introduction :

Les climatiseurs individuels et autonomes fonctionnent grâce à un appareil frigorifique qui utilise l'énergie électrique, afin de comprimer un fluide appelé réfrigérant. Au cours de son passage dans le circuit frigorifique, le réfrigérant change de phase : son évaporation s'effectue avec absorption de chaleur, sa condensation avec dégagement de chaleur. C'est grâce à ce changement d'état que la chaleur sera transportée d'un point à l'autre.

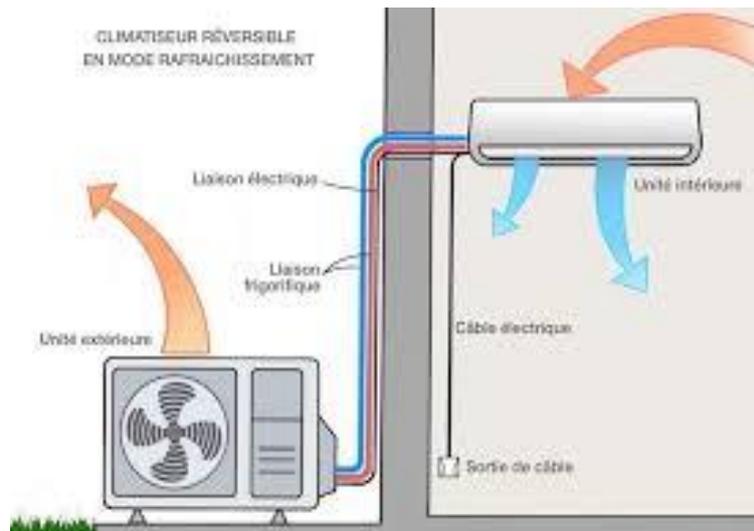
Le rafraîchissement d'un local s'obtient par l'élimination de la chaleur excédentaire, elle est absorbée par le fluide réfrigérant circulant dans l'unité intérieure par le biais du compresseur intégrée dans l'unité extérieure. Le fluide cède alors sa chaleur à l'air extérieur et le cycle peut continuer ainsi indéfiniment.

La climatisation consiste donc à traiter simultanément la température, la filtration, l'humidité et la distribution de l'air. Un climatiseur permet d'assurer le contrôle thermodynamique de l'environnement avec une circulation d'air qui absorbe chaleur et l'humidité. La température ambiante que procure un climatiseur permet aux occupants d'être plus confortable quel que soit la température extérieure. De même, un climatiseur possédant un bon système de filtration offre plusieurs autres avantages. Un système de climatisation, c'est toujours une unité extérieure (production de froid/chaud) et une unité intérieure (diffusion d'air). En mode chauffage, le cycle de fonctionnement est inversé. Nous avons ainsi un climatiseur réversible assurant aussi bien le refroidissement que le chauffage. La climatisation relève essentiellement de la technique des pompes et se trouve de plus en plus associée dans un même appareil, un 'climatiseur réversible' (rafraîchissement l'été, chauffage l'hiver). Les fabricants sont les mêmes [12].

La climatisation moderne a été inventée par Willis H. Carrier en 1911.

### III.2 Principe de fonctionnement d'un climatiseur

Une climatisation fonctionne un peu comme un réfrigérateur. Elle refroidit l'air ambiant grâce à un fluide frigorigène en évacuant la chaleur à l'extérieur. Il s'agit en réalité d'une machine thermodynamique à produire du froid qui fonctionne en circuit fermé.



**Figure 01 :** Climatiseur individuel [7]



**Figure 02:** Unité intérieure



**Figure03 :**Plaques de fixations



**Figure 04:** Les coupleurs rapides[7]



**Figure 05:**Isolants[7]



**Figure06 :** Unité extérieure [7]



**Figure 07:** Câble de liaison frigorifique [7]



**Figure08: Boitier** multi-branchement



**Figure09: Tube d'évacuation** [7]

### III.3 Différents model de climatisation :

- La climatisation avec une ou plusieurs unités intérieures et une unité extérieure.
- La climatisation mobile.
- La climatisation réversible qui constitue aussi bien un système de chauffage qu'un moyen de garder une atmosphère agréable lorsque la température extérieure grimpe.
- 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.
- Le climatiseur fixe/mural est le climatiseur le plus classique de tous et aussi le plus performant. Peu volumineux, il s'intègre parfaitement à votre intérieur et se fait le plus discret possible car il est ultrasilencieux.
- 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.

- Le climatiseur split se décline en plusieurs versions. Mon split ou multi split, mobile ou fixe, réversible ou non. Le modèle mon split est constitué d'une unité extérieure et d'une unité intérieure. Le modèle multi split a, quant à lui, en plus de l'unité extérieure, plusieurs unités intérieures pour pouvoir chauffer plusieurs pièces de la maison. Le climatiseur split est le plus performant du marché mais aussi le plus cher. Il est aussi très silencieux car les composants les plus bruyants se situent dans l'unité placée à l'extérieur de la maison.

### III.4 Comment bien choisir son climatiseur

**Avant de choisir un climatiseur, il faut que vous précisiez vos besoins. Est-il utile pendant toute la période estivale ou seulement ponctuellement ? Quelle est la superficie des pièces que vous voulez rafraîchir ? Avez besoin d'un chauffage d'appoint pendant l'hiver ? Suivez le vent...**

#### III.4.1 Choisir en fonction du climat

Dans les régions où les étés sont traditionnellement chauds, les climatiseurs split sont particulièrement recommandés. Ils sont composés d'un **bloc extérieur** qui comprend le compresseur et d'un ou de plusieurs **blocs intérieurs** munis d'évaporateurs. Ce type de climatiseurs se place en général, à proximité d'une fenêtre. Ils sont très efficaces et permettent de rejeter l'air chaud vers l'extérieur.

Si vous habitez des **régions moins chaudes** en été, vous pouvez opter pour des climatiseurs monobloc. Ils sont moins puissants que les climatiseurs split, mais rafraîchissent bien pendant les jours de canicule par exemple. Munis de roulettes, ils sont faciles à déplacer d'une pièce à l'autre et ne nécessitent pas de travaux. Seul inconvénient, ils rejettent l'air chaud vers l'intérieur et exigent l'entretien des filtres.

#### III.4.2 Choisir en fonction de l'espace

La puissance frigorifique d'un climatiseur est capitale pour le choix d'un climatiseur et dépend de la taille de la pièce à rafraîchir. Un climatiseur trop puissant, par exemple, consommera plus d'électricité sans pour autant être efficace.

La puissance frigorifique s'exprime en BTU (british thermal unit) qui équivaut à 0,2929 watt.

On considère que pour ventiler :

- 20 m<sup>2</sup> il faut 800 BTU
- 30 m<sup>2</sup> = 11000 BUT
- 40 m<sup>2</sup> = 1500 BUT
- 45 m<sup>2</sup> = 17000 BUT

*A noter* : Il faut également prendre en compte l'orientation de la pièce à climatiser, le nombre de personnes y séjournant ou encore son isolation. Une pièce orientée plein sud et mal isolée aura besoin d'un climatiseur plus puissant qu'une petite pièce bien isolée. N'hésitez à demander conseil à un vendeur.

### III.4.3 Choisir une clim en fonction du bruit

Les climatiseurs sont réputés **bruyants**, surtout si vous en avez besoin pendant que vous dormez. Si vous voulez éviter cet inconvénient, privilégiez les appareils qui portent le label Euro vent : c'est la certification d'un organisme indépendant chargé d'analyser, entre autres, les émissions sonores de l'une ou des deux unités.

### III.5 Types de climatiseurs

Comme nous l'avons indiqué précédemment, il y a deux grandes catégories de climatiseurs – le climatiseur individuelle le climatiseur central – qui englobent chacune, plusieurs modèles différents. Voici les différents modèles de climatiseur individuel :

- **Climatiseur pour fenêtre.** Ce genre d'appareil s'installe dans une fenêtre, qu'elle soit à guillotine simple ou double, coulissante ou à battants.
- **Climatiseur mural.** Ces appareils sont munis d'un manchon de raccordement qui permet de les installer dans une ouverture pratiquée dans le mur.
- **Climatiseur sur pieds.** Ce type d'appareil se déplace sur roulettes. Certains modèles sont reliés à l'extérieur au moyen de conduits amovibles.

Voici les différents modèles de climatiseur central :

- **Climatiseur monobloc.** Ce genre d'appareil regroupe tous les éléments nécessaires et s'installe en général dans les murs ou sur le toit. Des conduits assurent la distribution de l'air dans un sens et dans l'autre. Ce type d'installation est peu employé dans les résidences.
- **Climatiseur bibloc.** Ces appareils comportent un bloc monté à l'intérieur et un autre, à l'extérieur. L'échangeur thermique interne, ou serpent, est placé à l'intérieur des conduits, au-dessus de l'appareil de chauffage. Tous les autres éléments

sont à l'extérieur. Les conduits du frigorigène relient le serpentin intérieur au bloc de réfrigération extérieur.

- **Petit climatiseur bibloc.** Ces appareils ressemblent aux précédents, mais comportent plusieurs serpentins intérieurs reliés au bloc extérieur. Certains en possèdent trois. Ces appareils conviennent très bien aux maisons auxquelles on a ajouté un agrandissement, puisque l'installation de nouveaux conduits n'est pas nécessaire.

Le bloc intérieur se monte au mur, au plafond ou au plancher. Les blocs intérieurs et extérieurs sont en général beaucoup moins volumineux que ceux des systèmes à deux blocs ordinaires. Cependant, leur rendement tendance à être inférieur, ce qui est un facteur à ne pas négliger.

- **Climatiseur central avec conduits de faible diamètre.**

Ces appareils de climatisation centrale comportent un bloc intérieur placé dans les combles et un réseau de tuyaux de plastique installés dans les prises d'air et verses bouches d'air. Ce type d'appareil peut être installé lors d'un projet de rénovation dans les maisons équipées de plinthes électriques ou de radiateurs à eau chaude, où il n'y a pas de conduits d'air.

Il existe aussi des climatiseurs résidentiels

Hydroréfrigérés que l'on peut raccorder au réseau de distribution d'eau ou à un puits. Mieux vaut se renseigner auprès des autorités locales pour savoir si ces systèmes sont autorisés. Même si son utilisation est permise, ce type d'installation est peu répandu au Canada en raison des coûts d'exploitation qui incluent les frais d'électricité, d'alimentation en eau et d'égout.

On trouvera dans les sections qui suivent d'autres renseignements sur les deux grandes catégories de climatiseurs.

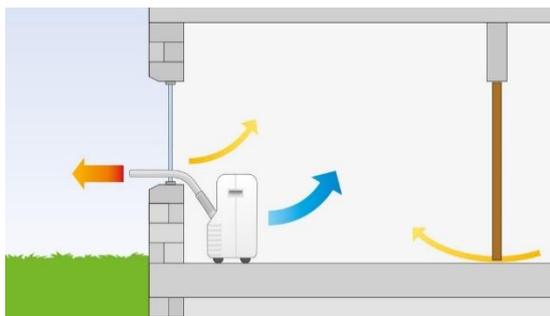


Fig.10 Climatiseurs monobloc à tuyau unique [7]

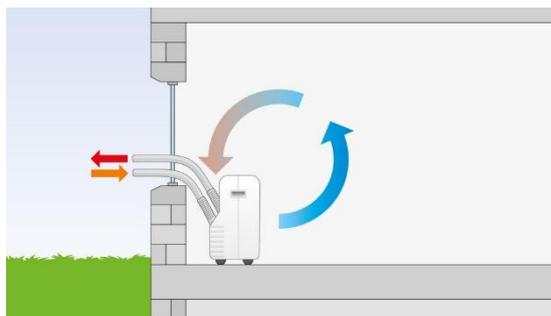


Fig.11 Climatiseurs monobloc à double tuyau [7]

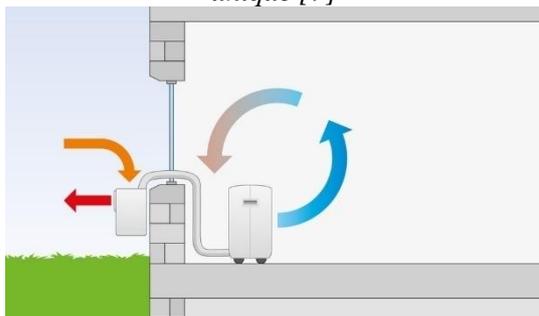


Fig.12 Climatiseurs split mobiles [7]



Fig.13 Climatiseurs à fenêtre [7]



Fig.14 Climatiseurs mural [7]



Fig.15 Climatiseur bibloc mobile [7]

### III.6 Éléments d'un climatiseur

Le **frigorigène** est le fluide qui circule à l'intérieur de l'appareil de climatisation et qui absorbe, transporte et libère successivement la chaleur.

Un **serpentin** est un ensemble de tubes montés en boucle où s'effectue le transfert de la chaleur. Il est parfois muni d'ailettes qui augmentent la surface utile servant à l'échange thermique.

L'**évaporateur** est un serpentin dans lequel le frigorigène absorbe la chaleur ambiante. Lorsque le frigorigène atteint point d'ébullition, il se transforme en vapeur à basse température.

Le **compresseur** comprime les molécules du gaz frigorigène, ce qui a pour effet d'en augmenter la pression et la température.

Le **condenseur** est un serpentín dans lequel le fluide frigorigène libère de la chaleur et se liquéfie.

Le **détendeur** abaisse la pression créée par le compresseur, ce qui provoque une baisse de température. Le frigorigène devient un mélange à basse température de vapeur et de liquide.

Le **Boîtier multi-branchement** : Permet de fixer plusieurs liaisons frigorifiques à l'unité extérieure.

Le **Isolants** : élément qui doit recouvrir l'ensemble des câbles et tuyaux. C'est un élément très important, qui joue sur la durée de vie de votre installation, et vous protégera d'une éventuelle électrocution.

Les **coupleurs rapides** : permet de "coupler" la liaison frigorifique à vos unités

### III.7 Mettre en service une climatisation

Il existe différentes étapes qui président à l'installation d'une climatisation :

- Demander des autorisations de travaux auprès de votre mairie si vous êtes propriétaire. Si vous êtes locataire, votre bailleur doit avoir autorisé l'équipement. C'est lui qui engagera les démarches administratives pour vous. En copropriété, l'accord du syndic et des autres copropriétaires est indispensable.
- Choisir l'emplacement qui doit être situé dans un lieu aéré, sain et dépourvu d'humidité.
- Fixer les différents éléments et les mettre en réseau.
- Ménager une sortie pour la gaine d'évacuation si le climatiseur choisi est pourvu d'un tuyau.

### III.8 Comment régler la température d'une climatisation réversible

La température d'une climatisation réversible est bien plus simple à régler avec les **appareils dotés de la technologie invertir**. La régulation est plus douce - fini les courants d'air froids - et vous pouvez espérer 30% d'économies par rapport à un climatiseur classique.

Par ailleurs, ne laissez jamais portes et fenêtres ouvertes quand votre équipement fonctionne. Sous peine de grosses déperditions d'énergie. En été, respectez un écart de 7 à 8 °C entre la température intérieure et extérieure. Veillez également à

minimiser le fonctionnement de la climatisation la nuit. Lors des fortes chaleurs, mieux vaut dormir la fenêtre ouverte qu'avec la climatisation à fond.

### III.9 Grilles d'air neuf et de rejet

Elles protègent de la pluie et de l'entrée de rongeurs ou d'oiseaux grâce à un grillage métallique.

La norme européenne EN 13779 définit certaines dispositions à respecter pour les prises d'air extérieures :

- ✓ Le placement préférentiel de la prise d'air est face aux vents dominants.
- ✓ Le dimensionnement de la prise d'air non protégée s'effectue sur base d'une vitesse d'air maximum de 2 m/s.
- ✓ Les principales distances à respecter pour la prise d'air (par rapport au sol, aux sources polluantes, au rejet d'air ...)

Pour les grilles de rejet d'air, les dispositions à respecter sont les suivantes :

- ✓ Les rejets d'air doivent se trouver à plus de 8 m d'un immeuble voisin.
- ✓ Les rejets d'air doivent se trouver à plus de 2 m d'une prise d'air neuf située sur le même mur et de préférence au-dessus de celle-ci.
- ✓ Le débit d'air par bouche ne peut dépasser 0,5 m<sup>3</sup>/s et la vitesse de l'air au droit de la bouche doit dépasser 5 m/s.



*Figure 16 : Grilles d'air [7]*

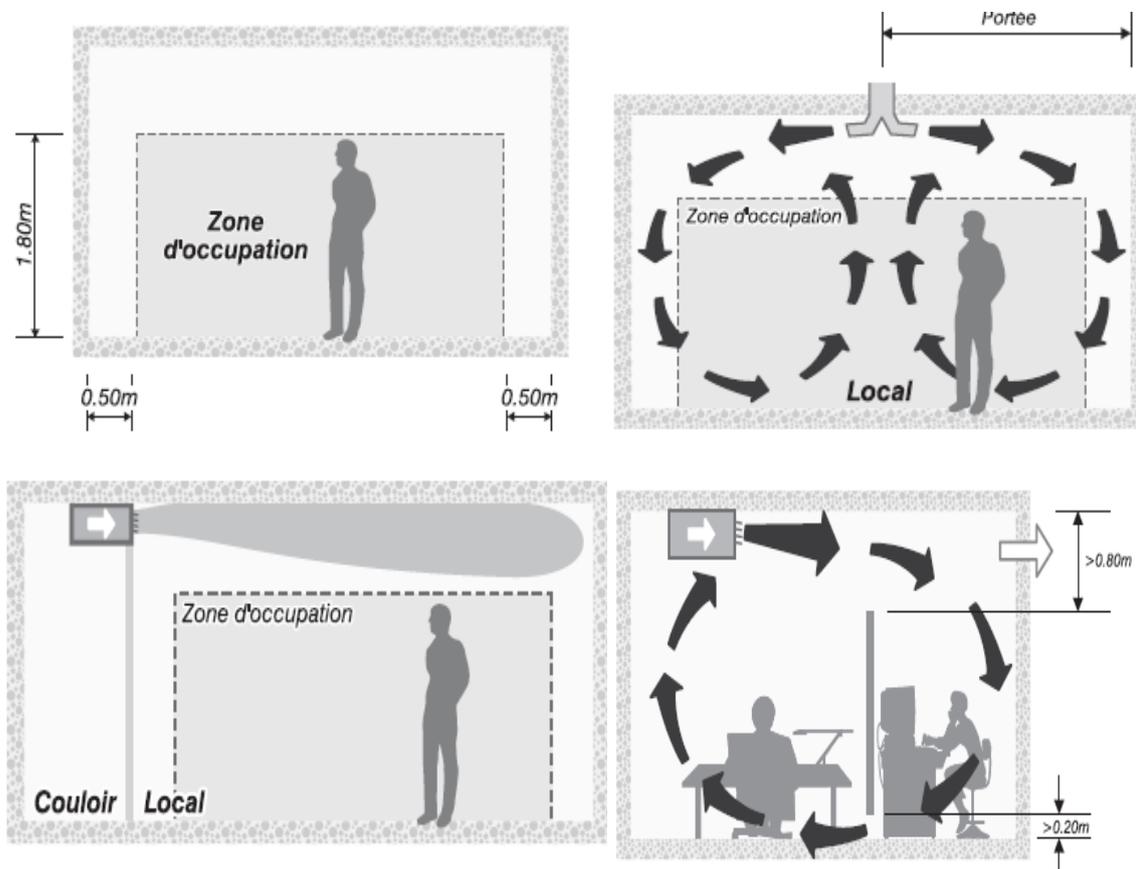
Pour les prises d'air neuf, les recommandations sont les suivantes :

- pas disposées au-dessus de surfaces horizontales sombres fortement ensoleillées (toitures plates couvertes d'une membrane d'étanchéité noire, par exemple) et sans protection.

- à moins de 8 m en distance horizontale d'un point de ramassage d'ordures, d'une zone de parking pour 3voitures ou plus fréquemment utilisée, des aires de chargement, des zones de circulation, des ouvertures d'égouts, des conduits de fumée et autres sources polluantes similaires.

### III.10 Position des bouches

Les mouvements de l'air dans les locaux dépendent de la disposition des bouches de soufflage et de reprise par rapport à l'emplacement des occupants. En pratique, il faut que la vitesse d'air retombe en-dessous d'une certaine limite dans la zone d'occupation (selon EUROVENT : Européen Association of Air Handling and Réfrigération Equipment Manufacturer). En aucun cas le jet d'air ne peut toucher les occupants avant qu'il ne se mélange avec l'air ambiant.



En ce qui concerne les bouches de soufflage et de reprise intervient la notion de portée.

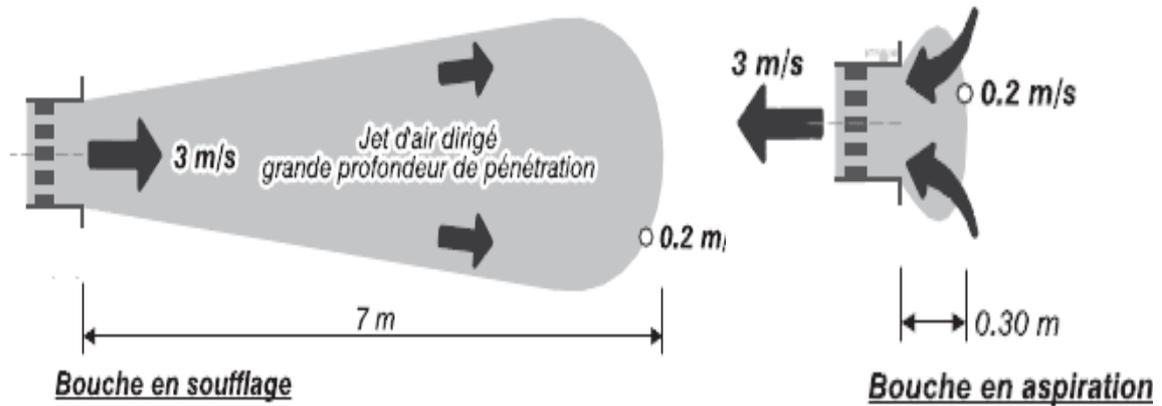


Figure 17 : Bouche en soufflage et aspiration[7]

Pour la bouche de reprise, la vitesse de l'air n'est donc pas critique au niveau du confort thermique mais elle peut cependant l'être au niveau du confort acoustique.

Position de la bouche de reprise	Vitesses de reprise recommandées	
Au-dessus de la zone d'occupation	4,5	m/s
Dans la zone occupée loin des sièges	3,5-4,5	m/s
Dans la zone occupée près des sièges	2,5-3,5	m/s
Bouches de portes	1,5-2	m/s
Sous les portes	1-1,5	m/s

### III.11 Principes de diffusion d'air

Deux principes de diffusion de l'air dans un local sont appliqués : *diffusion d'air par mélange* et par *déplacement*.

**III.11.1 Diffusion de l'air par mélange** : l'air du local est attiré par le jet d'air soufflé

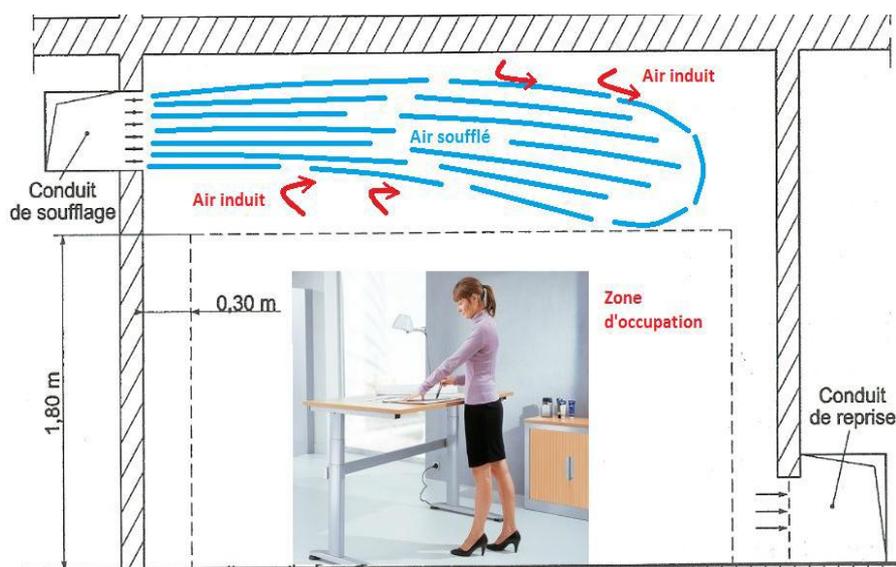


Figure 18 : Diffusion de l'air dans une pièce [7]

**III.11.2 Diffusion de l'air par déplacement** : diffusion de l'air par substitution pour les locaux devant être refroidi en permanence L'air n'est pas diffusé par dilution ou par induction comme dans les systèmes classiques, où l'air soufflé en partie haute se mélange à l'air ambiant, en entraînant un brassage des pollutions et calories dégagées, mais par **déplacement** :

- ✓ L'air est insufflé en partie basse des locaux, à **très faible vitesse** (0,12 à 0,30 m/s) et avec un **très faible écart de soufflage** (+/- 2 à 5°C).
- ✓ Par **tirage thermique** l'air réchauffé au contact des occupants et autres sources de chaleur, s'élève au-delà de la zone d'occupation (1 à 1,50m du sol).
- ✓ Il est **filtré** (minimum 50% opacimétrie) et **repris en plafond** pour être mélangé à de l'air neuf et traité en centrale.

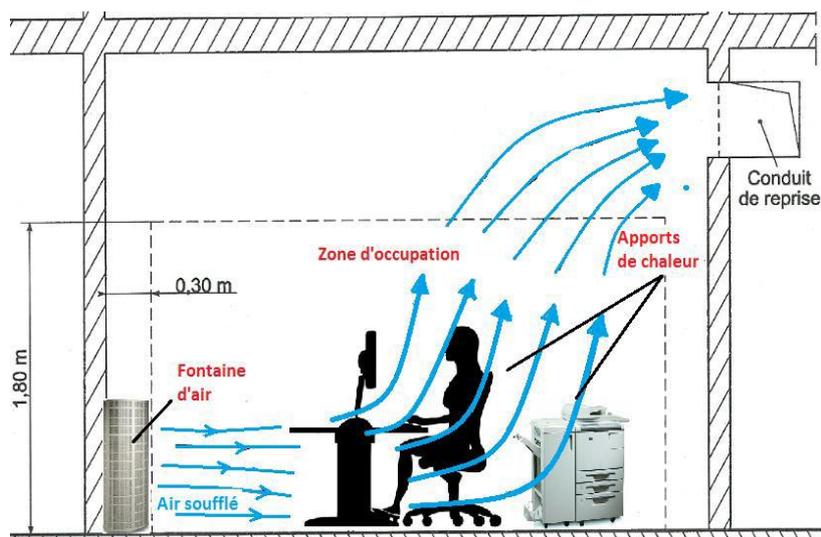


Figure 19 : Circulation de l'air [7]

La qualité de l'air est nettement améliorée, les particules nocives ne traversent le local qu'une seule fois (au lieu de **60 fois** dans les diffusions par dilution). Le confort acoustique est parfait grâce aux très faibles vitesses de soufflage (**NR 25**). L'originalité de cette technologie réside dans les **baffles de diffusion**. Les diffuseurs à déplacement d'air ont une surface de diffusion très importante et une hauteur respectable. L'air est soufflé au travers d'une grille micro-perforée après avoir traversé un *atténuateur acoustique* et un *caisson de détente*. Les systèmes à déplacement d'air sont tout à fait indiqués pour les locaux **à forte occupation, à fort dégagement calorique et de grand volume** :

- *Locaux de spectacles* : théâtres, cinémas, auditoriums
- *Locaux recevant du public* : halls et patios d'hôtels, cafés et restaurants
- *Locaux industriels* : laboratoires, cuisines, salles blanches
- *Locaux hospitaliers* : blocs opératoires, salles de réanimation

*Locaux d'enseignement* : amphithéâtres, salles de cours

**CHAPITRE**

**IV**

**RESULTATS ET**

**DISSCUSION**

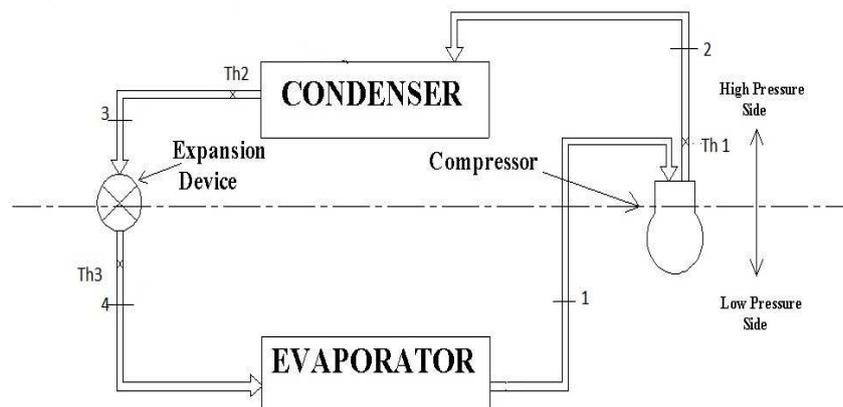
## RESULTATS ET DISCUSSION

Ce travail présente une étude expérimentale pour l'évaluation des performances d'un trois réfrigérants R22 ; R410A et R32 dans un prototype de climatiseur domestique. Le déroulement de ces expériences au sein laboratoire du centre de formation professionnelle (CFPA) d'Ain Témouchent.

### IV.1 Méthodologie expérimentale :

Le diagramme schématique représentant l'air conditionneur est montré dans les figures 1, 2. L'unité était équipée ultérieurement de R22, R410A et R32. Afin d'avoir une température uniforme dans toute la pièce, ventilateur de plafond une puissance de 60 watts installée au centre de la pièce a été utilisée pour faire circuler l'air à l'intérieur de la pièce. Les composants de base d'un climatiseur de fenêtre sont comme suit :

1. Compresseur, 2. Condenseur, 3. Evaporateur et 4. Détendeur



*Figure 01 : Cycle d'unité expérimentale.*



**Figure 2a :** Unité ouverte.



**Figure 2b :** Unité fermée.

**Figure 02 :** Unité d'essai expérimental de climatiseur.

**Tableau 1 :** Spécifications de l'unité de test du climatiseur

Compresseur	Type
FAN	2900 RPM
Capillaire	Tube en Cu
Evaporateur	Bobine de cuivre
Mesure de la température	-50 °C à 80°C
gamme	
humidité relative	20% à 80%
gamme	
Longueur du capillaire	832 mm
Température de l'évaporateur	10°C à 12°C
Température de condenseur	40°C

## IV.2 Analyse des paramètres de performance :

Les équations pour l'analyse du cycle peuvent être obtenues par conservation de la masse et de l'énergie. La réduction des données des résultats théoriques peut être analysée au-dessous de. Le rapport de pression du cycle peut être vu ci-dessous comme suit :

$$\text{Le rapport de pression} = P_{\text{cond}} / P_{\text{evap.}} = P_2/P_1 \quad \text{IV.1}$$

L'effet frigorifique ( $R_E$ ), autrement dit la chaleur le taux de transfert de l'évaporateur ( $Q_{\text{evap.}}$ ) est calculé comme suit :

$$R_E = Q_{\text{evap}} = h_1 - h_4 \text{ kJ/kg.} \quad \text{IV.2}$$

Travail de compression isentropique du compresseur ( $W_{\text{comp}}$ ) s'exprime comme suit :

$$W_{\text{comp}} = h_2 - h_1 \text{ kJ/min.} \quad \text{IV.3}$$

Le coefficient de performance (COP) du cycle du système de réfrigération peut être déterminé par :

$$\text{COP} = R_E / W_{\text{Comp.}} \quad \text{IV.4}$$

La puissance de réfrigération est calculée comme suit :

$$\text{Puissance de réfrigérant à piston} = W_{\text{comp}} / 60 \text{kw.} \quad \text{IV.5}$$

### IV.3 Calcul de la puissance d'un évaporateur mesurée sur site

#### IV.3.1 Evaporateur (en Watts)

Pour la puissance frigorifique de l'évaporateur  $\Phi_c$ , il est indispensable de connaître

$$\Phi_c = q_v \times \Delta h \quad (\text{W}) \quad \text{IV.6}$$

$\Phi_c$  : puissance d'évaporateur exprimée en W

$q_v$  : débit d'air mesuré par un anémomètre en  $\text{m}^3/\text{h}$

$\Delta h$  : énergie absorbée par le compresseur par kilogramme de fluide frigorigène  $\text{Kj/Kg}$

0,34 : Chaleur massique de l'air en W

#### IV.3.2 La puissance du compresseur

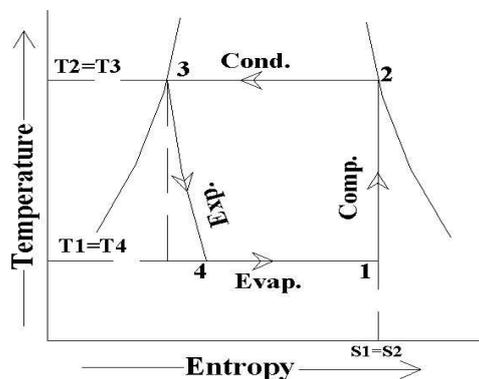
Comme le condenseur à air

$$\Phi_c = Q_m \times \Delta h \quad (\text{W}) \quad \text{IV.6}$$

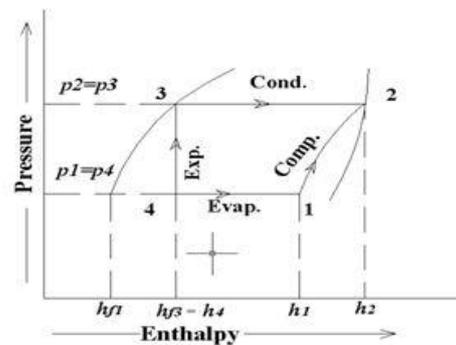
$\Phi_c$  : puissance au compresseur en KW

$Q_m$  : débit massique du fluide frigorigène en  $\text{Kg/s}$

$\Delta h$  : énergie absorbée par le compresseur par kilogramme de fluide frigorigène  $\text{Kj/Kg}$



(a) : Diagramme T-S.

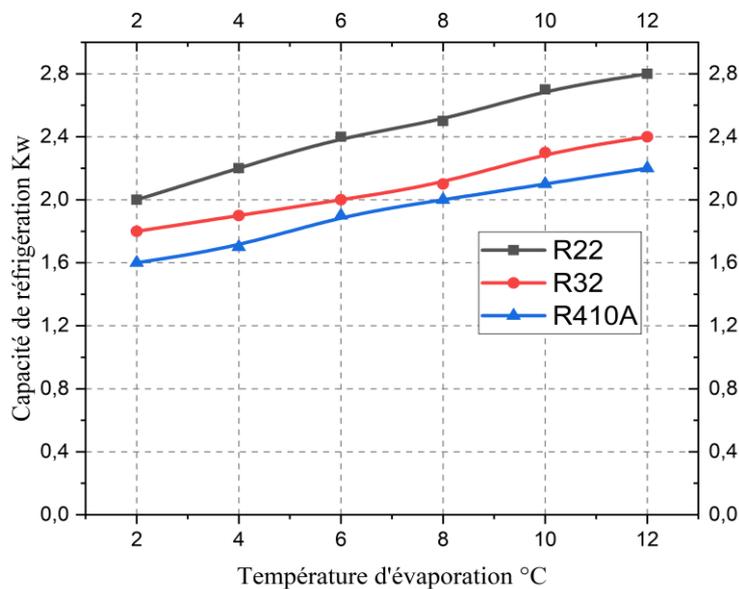


(b) : Diagramme P-H.

Figure 03 : Cycle de compression de vapeur théorique.

#### IV.4 Résultat et discussion :

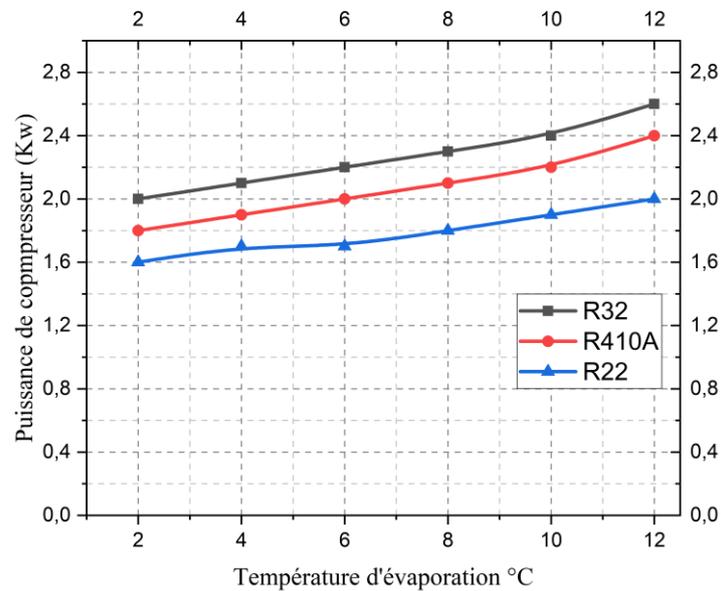
R410A et son remplacement R32 modernisé ont été utilisées dans le climatiseur et les performances du système étaient évalué et comparé. Le résultat de la capacité de réfrigération obtenue à différentes températures d'évaporation est montré dans la figure 4. La température d'évaporation variait de 2°C à 12°C en raison de la variation de la température intérieure l'ordre 17°C à 26°C dans ce système. Il a été constaté que pour les trois frigorigènes étudiés, la capacité de réfrigération augmenté avec l'augmentation de la température d'évaporation.



*Figure 04 : Variation de la capacité de réfrigération avec la température d'évaporation*

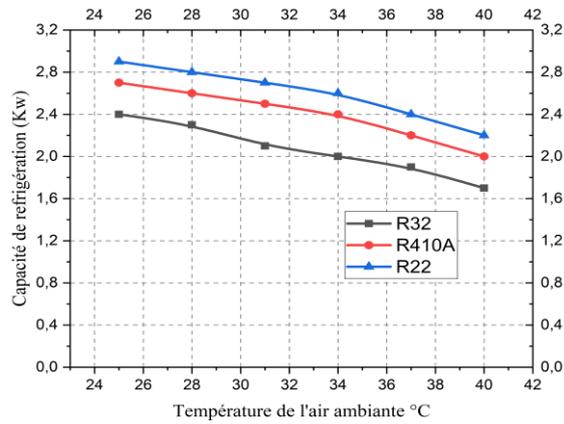
La figure 5 montre la variation entre la puissance du compresseur et la température d'évaporation de R22, R410A et la réfrigérants alternatifs R32. Comme le montre la figureci-dessous, le changement de puissance du compresseur avec la température évaporation est similaire pour les réfrigérants. L'augmentation la température d'évaporation augmente la puissance de compresseur. La puissance du compresseur du gaz R32 est plus élevée que les gaz R22, R410A. La moyenne de la puissance du

compresseur du gaz R32 a augmenté de l'ordre 13% par rapport à R410A et de l'ordre 24% par rapport R22



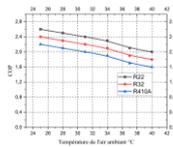
**Figure 05 :** Variation de la puissance du compresseur avec la température d'évaporation.

Les performances des fluides frigorigènes étudiés du climatiseur ont été obtenues pour différentes températures ambiantes. La température de l'air ambiant variait de 25°C aux premières heures de la journée à 40°C à la fin après midi. La figure 6 illustre l'effet de la variation de la température ambiante sur la capacité de réfrigération, donc cette figure montre clairement que l'augmentation de la température ambiante fait diminuer la capacité de réfrigération.



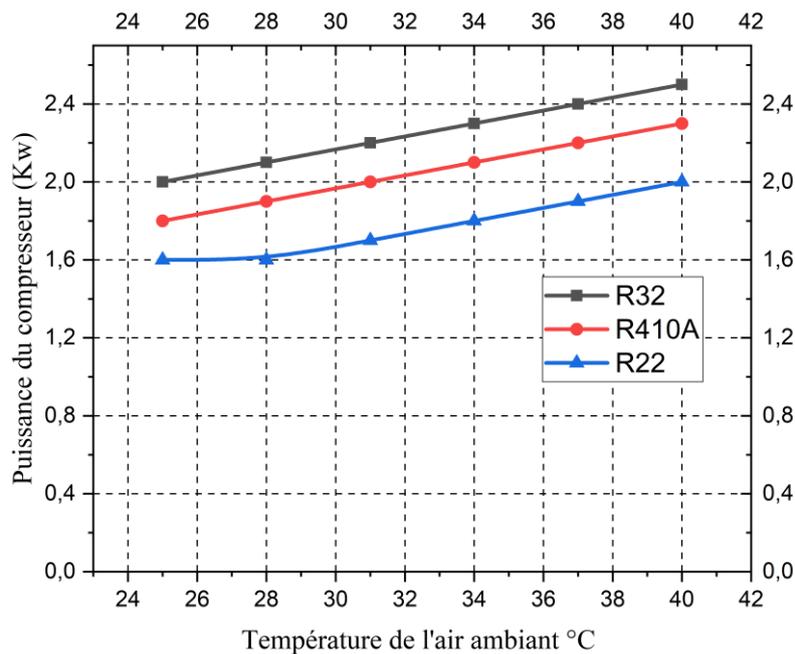
**Figure 06 :** Effet de la température de l'air ambiant sur la capacité de réfrigération

La figure.7 présente la variation coefficient de performance en fonction de température ambiante, pour différentes valeurs. On a remarqué que le COP diminué avec l'augmentation de température de l'air ambiant. On peut aussi le voir partir de ces chiffres, que la performance avec R22 est mieux que R410A et R32.



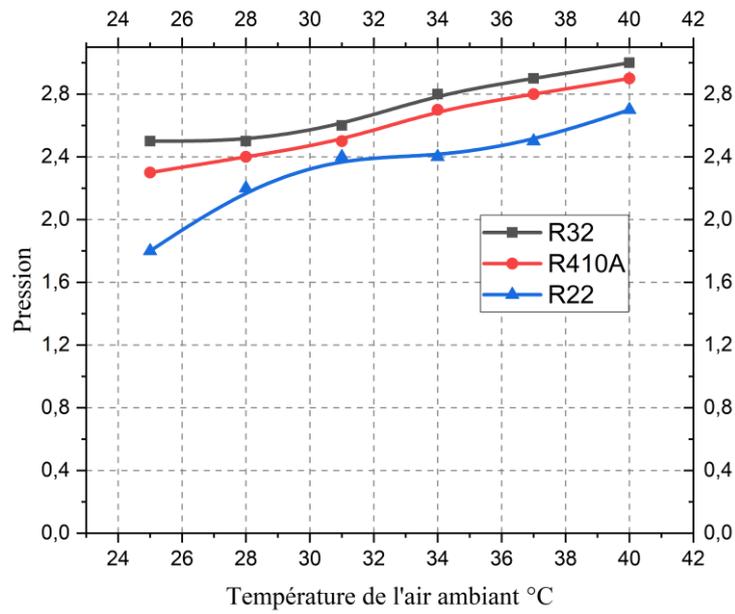
**Figure 07 :** Effet de la température de l'air ambiant sur le coefficient de performance (COP).

La figure 8. Montre la variation de la puissance du compresseur pour les deux réfrigérants en fonction la température ambiante comme indiqué sur cette figure. La puissance du compresseur augmente fait à mesure que la température ambiante augmente, mais il y a une différence considérable dans les performances avec R22 et R410A et R32. La puissance du compresseur avec le gaz R32 être plus élevés que le réfrigérants R410A et R22.



*Figure 08 : Effet de la température de l'air ambiant sur la puissance du compresseur.*

La Figure. 09 illustre la variation du rapport de pression fonction la température ambiante pour les trois fluides frigorigènes R22, R410A et R32 au niveau de compresseur. On a remarqué que les valeurs du rapport de pression pour les deux frigorigènes augmentent avec l'augmentation de température ambiante. Mais il y a une différence considérable dans les performances avec R22, R410A et R32. Le rapport de pression avec le R32 est plus élevé que les deux réfrigérants R22 et R410A à toute température ambiante.



*Figure 09 : Effet de la température de l'air ambiant sur le rapport de pression.*

# Conclusion

Dans cette étude, des expériences ont été menées pour étudier le gaz R 32 et son remplacement le gaz R410A dans un climatiseur individuel. Basé sur le résultat expérimental, les conclusions suivantes ont été tirées.

1. La capacité de réfrigérant et le COP réduisent et augmentation de la puissance et du rapport de pression du compresseur dans le cas de gaz R32.
2. Les paramètres de performance c'est à dire la capacité de réfrigération, le COP augmente avec l'augmentation température d'évaporation en cas de R32.
3. La puissance du compresseur du R32 est supérieure à R22 et R410A.
4. Le COP moyen de R410 et R22 est inférieur au COP R32.

Enfin, le système lors de la charge avec R32 a toujours eu les meilleures performances par rapport avec système contenant R22 et R410A. Mais aussi le réfrigérant R32 est remplacé par le R410A et R22 en raison de sont impact nul sur la couche d'ozone . un fluide totalement pur donc plus facilement recyclable

Alors, en résumé il est clair que le R32 est plus performant avec moins d'impact sur l'environnement.

## Bibliographie chapitre 1

- [1] -Ibrahim Dincer et Mehmet Kanoglu Refrigerationsystems and applications, second edition. Edition Wiley 2010.
- [2] -Etude et modélisation des propriétés thermodynamiques des mélanges de fluides frigorigènes, R Djefal - archives.umc.edu.dz
- [3]- A. R. Trott, T. Welch. Refrigeration and air-conditioning. Third edition by Butterworth-Heinemann, 2000
- [4] -V. L. Le. Etude de la faisabilité des cycles sous-critiques et supercritiques de Rankine pour la valorisation de rejets thermiques. Thèse Doctorat, Université de Lorraine, 2014.
- [5]- Mémoire de magister thermique du bâtiment et réfrigération Thème : Etude et modélisation des propriétés thermodynamiques des mélanges de fluides frigorigènes, Présenté et soutenu par : DJEFFAL RACHID. Université MENTOURI de Constantine.
- [6]- Aide-mémoire froid industriel Jean Desmonts 3e édition Préface de Louis Lucas. Président de l'Association française du froid. Directeur honoraire de l'Institut internationale du froid.
- [7]-Djefalrachid, Etude et modélisation des propriétés Thermodynamiques des mélanges de fluides Frigorigènes. Mémoire de magister en génie climatique, université de mentouriconstantine 2015.
- [8]- Le point sur le fluide R32 (CH 35) ! - ABC CLIM, <https://www.abcclim.net>
- [9]- Fiche technique-R32-Gas Servei, <https://gas-servei.com> › shop › docs › fiche-techni..
- [10]- Fluides frigorigènes [Climatisation] - Energie Plus Le Site  
<https://energieplus-lesite.be> › fluides-frigorigenes

[11]-Tim. G. A. Vink, Evolution Récentes des réglementations relatives aux fluorocarbures, European Seminars February 2002.

[12] - D. A. Didon, The role of refrigerant mixtures, Bulletin of IIRN=094-3, January 1994.

Exemples de catalogues et de web stores :

- ISO Standards Catalogue: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_ics.htm](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics.htm)
- CEI : IEC webstore: <http://webstore.iec.ch/?ref=menu>
- CEN Standard database <http://esearch.cen.eu/esearch/>
- ANSI Standards store <http://webstore.ansi.org>

## Bibliographie chapitre 2

[1] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide\\_frigorig%C3%A8ne](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide_frigorig%C3%A8ne)

[2] [Performance Analysis of Vapour Compression Refrigeration ...](#)

<https://www.ijser.org> >

[3] [Climatiseurs mobiles - Vos questions, nos réponses ...https://www.quechoisir.org](#) >

[4] [Evaluation Des Performances D'une Machine Frigorifique Hybride A absorption/éjection, Master 2017, Université Annaba](#)

[5] [Le froid : usages et production | Encyclopédie de l'énergie](#)

<https://www.encyclopedie-energie.org> >

[6] <https://www.ingenieurs.com/documents/memoire/thermique-209.php>

[7] [Nitrate d'ammonium - Société Chimique de France](#)

<https://www.societechimiquedefrance.fr> >

[8] [polycopé thermodynamique appliquée - ops.univ-batna2.dz](#)

<http://staff.univ-batna2.dz>

\* [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide\\_frigorig%C3%A8ne](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide_frigorig%C3%A8ne)

Wen-Tientasi, 2005, an over view of environmental hazards and exposure, and explosive rise of hydrofluorocarbon HFC'S, *chemosphere*, 61, 1539-47.

\* Susan solomon, gian-kasperplattner, retoknutt, fredlingstein, Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions » *journal climatique*, Vol 106 n° 06, 2009.

\*Evaluation Des Performances D'une MachineFrigorifique Hybride A absorption/  
éjection, Master 2017, Uniersité Annaba

\* JOHNSON Lyndsey1998, Global warmingfrom HFC,environment impact  
assessmentrev, 18, 485 –492

\* DERGHOUT.Z :mémoire de magister, investigation du cycle de réfrigération à  
éjecto-compression et sesapplication dans le froid, le chaud et l'énergie, Université  
Mentouri Constantine 2077.P17,18,19,20,43,44,100,101,102,103,104,105.

\*Technique du froidCours de base, CFmnLog, juillet 2007

\* Tim. G. A. Vink, Evolution Récentes des réglemmentations relatives aux fluorocarbures,  
European Seminars February 2002.

\* D. A. Didon, The role of refrigerant mixtures, Bulttin of IIR N=0 94-3, January 1994.

\* Djefalrachid,Etude et modelisation des proprietesThermodynamiques des melanges de  
fluidesFrigorigenes. Mémoire de magister en génie climatique, univrité de  
mentouriconstantine 2015.

\* <https://www.thermal-engineering.org>

# Référence figure

- \*<https://www.abcclim.net/changement-detat.html>
  - \*<https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/04/HAMAIDI-CHAIMA.pdf>
  - \* <https://energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/production-de-froid/machine-frigorifique-a-ab-adsorption/>.
  - \*<https://colddistribution.fr/content/19-fontionnement-du-compresseur>
  - \*<https://colddistribution.fr/content/19-fontionnement-du-compresseur>
  - \*<https://energieplus-lesite.be/techniques/froid-alimentaire7/condenseurs/>
  - \*<https://lefroidindustriel1.blogspot.com/2011/11/les-detendeurs.html>
  - \* <https://www.abcclim.net/evaporateur.html>
  - \* D. A. Didon, The role of refrigerant mixtures, Bulttin of IIR N=0 94-3, January 1994.
  - [\* <https://www.thermal-engineering.org/fr/quest-ce-que-le-cycle-de-compression-de-vapeur-cycle-de-refrigeration-definition/>
  - \*<https://www.ef4.be/fr/pompes-a-chaleur/technique-generalites/cycle.html>
  - \*<https://www.abcclim.net/le-circuit-frigorifique.html>
  - \*[https://fr.wikipedia.org/wiki/Formule\\_de\\_Clapeyron](https://fr.wikipedia.org/wiki/Formule_de_Clapeyron)
  - \*<https://www.fichier-pdf.fr/2013/06/17/diagramme-r410a/>
  - \*<https://www.calorie-fluor.fr/catalogue-froid-huiles/fluides-frigorigenes/r32/>
  - \*[https://fr.co\\_nofchem/product\\_Cooling-99-97-Pure-Gas-Cylinder-Refrigerant-Freon-R410A\\_rnoysgog.html](https://fr.co_nofchem/product_Cooling-99-97-Pure-Gas-Cylinder-Refrigerant-Freon-R410A_rnoysgog.html)
  - \*<https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/cycle-du-carbone/>
  - \*<https://colddistribution.fr/content/19-fontionnement-du-compresseur>
  - \*<https://colddistribution.fr/content/19-fontionnement-du-compresseur>
  - \*<https://energieplus-lesite.be/techniques/froid-alimentaire7/condenseurs/>
  - \*<https://lefroidindustriel1.blogspot.com/2011/11/les-detendeurs.html>
  - \* <https://www.abcclim.net/evaporateur.html>
  - \* D. A. Didon, The role of refrigerant mixtures, Bulttin of IIR N=0 94-3, January 1994.
  - [\* <https://www.thermal-engineering.org/fr/quest-ce-que-le-cycle-de-compression-de-vapeur-cycle-de-refrigeration-definition/>
  - \*<https://www.ef4.be/fr/pompes-a-chaleur/technique-generalites/cycle.html>
- CHAIMA.pdf

\* <https://energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/production-de-froid/machine-frigorifique-a-ab-adsorption/>.

\*<https://colddistribution.fr/content/19-fontionnement-du-compresseur>

\*<https://colddistribution.fr/content/19-fontionnement-du-compresseur>

\*<https://energieplus-lesite.be/techniques/froid-alimentaire7/condenseurs/>

\*<https://lefroidindustriel1.blogspot.com/2011/11/les-detendeurs>