

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



**En vue d'optention du diplôme de MASTER en mécanique  
Option énergétique**

## Thème

**Etude et analyse numerique du comportement énergétique d'une  
chambre froide.**

### Présenté par :

- Melle TAOUIL Maroua
- Mr KHETTOU Rachid

### Devant le jury composé de :

- Pr BOUNIF Abdelhamid (Président)
- Dr NEHARI Tayeb (Encadrant)
- Dr SALAH Hichem (Examinateur)

**Année universitaire : 2023/2024**

# Remerciements

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

*remerciements à notre encadrant Monsieur*

***NEHARI Tayeb**, pour ses conseils et sa disponibilité*

*durant la réalisation de ce travail.*

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

*Nous exprimons nos vifs remerciements à nos familles et nos amis.*

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

# *Dedicaces*

*Je dédie ce travail à mes très chers parents, qui m'ont toujours entouré de leur confiance, amour et encouragement tout le long de ma vie. Sans eux, ce mémoire n'aurait pu voir le jour.*

*À mon frère Anas,*

*À la mémoire de mon grand père, que dieu l'accueille dans son vaste paradis.*

*Maroua*

# *Dedicaces*

*Je dédié ce simple travail à ma chère famille, mes parents  
surtout ma mère, et mes frères ainsi que  
mes profs qui n'ont jamais hésité à me donner le courage et  
la force pour travailler.*

*Rachid*

## **Résumé**

Dans notre travail intitulé " Étude et analyse numérique du comportement énergétique d'une chambre froide" nous avons d'abord commencé par parler des chambres froides d'une manière générale au cours du premier chapitre, une description approfondie de sa composition et son isolation dans le deuxième chapitre. Au cours du troisième chapitre, nous avons étudié les différentes déperditions de la chambre froide, enfin pour entamer nous avons proposé trois différents réfrigérants dont nous avons soumis aux mêmes conditions afin d'évaluer et de comparer leurs performances à l'aide du logiciel Solkane 8.0

**Mots clés :** Chambre froide, cycle frigorifique, fluide frigorigène, SOLKANE.

## **Abstract**

In our work "untitled Numerical study and analysis of the energy behavior of a cold room", we initially started by discussing cold rooms in a general manner in the first chapter, providing a detailed description of their composition and insulation in the second chapter. In the third chapter, we examined the various heat losses of the cold room. Finally, we introduced three different refrigerants, which we subjected to the same conditions to evaluate and compare their performances using the Solkane 8.0 software.

**Key words :** Cold room, refrigeration cycle, refrigerant fluide,SOLKANE.

## المخلص

في عملنا الموسوم "دراسة وتحليل عددي للسلوك الطاقوي لغرفة باردة"، بدأنا أولاً بمناقشة الغرفة الباردة بشكل عام في الفصل الأول، وتقديم وصف مفصل لتكوينها وعزلها في الفصل الثاني. في الفصل الثالث، قمنا بدراسة مختلف فقدانات الحرارة في الغرفة الباردة. وأخيراً، قمنا بتقديم ثلاثة مبردات مختلفة، التي خضعناها لنفس الظروف لتقييم ومقارنة أدائها باستخدام برنامج سولكان.

**الكلمات المفتاحية:** الغرفة الباردة، دورة التبريد، سائل التبريد، سولكان.

## Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Abstract	
Table de matière	
Liste des figures	
Liste de tableaux	
Nomenclature	
Introduction générale.....	1

### CHAPITRE I : Généralités sur les chambres froides.

1.1. Introduction .....	2
1.2. Définition des chambres froides.....	2
1.3. L'objectif d'utilisation des chambres froides.....	3
1.4. Classification des chambres froides selon le mode de fonctionnement.....	3
1.4.1. Phénomène de transfert thermique.....	3
1.4.2. Machine utilisant la vaporisation d'un frigorigène.....	4
1.4.2.1. Machine à compression.....	4
1.4.2.2. Machine à absorption.....	4
1.4.2.3. Machines à adsorption.....	4
1.4.2.4 Machine à éjection.....	5
1.5. Le circuit frigorifique.....	5
1.5.1. Les composants principaux d'un circuit frigorifique.....	5
1.5.1.1. Le compresseur.....	5
1.5.1.2. Le condenseur.....	6
1.5.1.3. Le détendeur.....	7
1.5.1.4. L'évaporateur.....	7
1.5.2. Le diagramme enthalpique.....	9
1.5.3. Fonctionnement du cycle frigorifique.....	10
1.5.4. Le cycle frigorifique et le COP.....	14

1.6. Conditions de fonctionnement et caractéristiques d'une machine frigorifique.....	16
1.6.1. La température d'évaporation.....	16
1.6.2. Température de condensation.....	17
1.6.3. Le sous-refroidissement.....	18
1.7. Les fluides frigorigènes.....	18
1.7.1. Définition.....	18
1.7.2. Nomenclatures des fluides frigorigènes.....	18
1.7.3. Propriétés des fluides frigorigènes.....	19
1.7.4. Types des fluides.....	20
1.7.5. Choix du fluide frigorigène.....	22
1.7.5.1. R134a.....	22
1.7.5.2. R32.....	23
1.7.5.3. R404A.....	24
3. Conclusion.....	24

## **Chapitre II : Dimensionnement et isolation de la chambre froide**

2.1. Introduction.....	25
2.2. Dimensionnement de la chambre froide.....	25
2.2.1 Le sol.....	25
2.2.2. Les parois verticales.....	25
2.2.3 Le plafond.....	26
2.3 L'isolation thermique et le transfert de chaleur .....	26
2.3.1 L'évolution de l'isolation thermique.....	27
2.3.2 Les isolants thermiques.....	28
2.3.3 Les panneaux sandwich.....	28
2.3.4 Comment choisir l'isolation d'une chambre froide.....	30
2.3.5 Les types d'isolants.....	32
2.3.5.2 Isolants bio-sources.....	33
2.3.6 Control d'isolation thermique des parois de la chambre.....	33

2.3.7 Isolation et inertie.....	34
3. Conclusion.....	34

### **Chapitre III : Bilan thermique**

3.1 Introduction.....	35
3.2 Bilan thermique.....	35
3.3.1 Les charges thermiques.....	35
3.3.1.1 Les charges thermiques externes.....	35
3.3.1.1.1 Charges thermique par transmission à travers les parois.....	35
3.3.1.1.2 Charges thermiques par renouvellement d'air.....	36
3.3.1.1.3 Charges thermiques par ouverture des portes.....	36
3.3.1.2 Calcul des charges thermiques internes.....	37
3.3.1.2.1 Charges thermiques internes dépendantes des denrées entreposées.....	37
3.3.1.2.2 Charges thermiques internes indépendantes des denrées entreposées.....	39
3.4 Sélection de l'équipement.....	43
3.4.1 Sélection de l'évaporateur.....	43
3.4.2 Sélection du groupe de condensation.....	43
3.4.3 Sélection du détendeur.....	43
3.5 Le rendement.....	44
4. Conclusion.....	44

### **Chapitre IV : Résultats et discussions**

Introduction.....	45
1. Description du logiciel SOLKANE.....	45
2. Les fluides frigorigènes SOLKANE.....	45
3. Choix du fluide frigorigène.....	46
4. Les Fluides frigorigènes.....	47
5. Présentation des résultats de calcul du logiciel SOLKANE.....	48

6. études d'impact des différents fluides réfrigérants.....	49
7. circuit frigorifique simple.....	49
7.1. Pour la puissance frigorifique : P frigorifique = 100 Kw.....	50
7.1.1. Avec R134a .....	50
7.1.2. Avec R32.....	51
7.1.3. Avec R404A.....	52
7.2. Pour la puissance frigorifique : P frigorifique = 200 Kw.....	53
7.2.1. Avec R134a.....	53
7.2.2. Avec R32.....	54
7.2.3. Avec R404A.....	55
7.3. Pour la puissance frigorifique : P frigorifique = 300 Kw.....	56
7.3.1. Avec R134a.....	56
7.3.2. Avec R32.....	57
7.3.3. Avec R404A.....	58
8. L'influence sur Cop.....	59
9. L'influence sur l'écart de Température.....	60
10. Comparaison des Résultats.....	61
11. Pour les mêmes paramètres précédents nous changeons les températures (Sous-refroidissement et Surchauffe.....	61
11.1/-Pour le cas de 100kw.....	62
11.1.1/-Avec R134a.....	62
11.1.2. Avec R32.....	63
11.1.3. Avec R404A.....	64
11.2. L'influence sur Cop.....	65

Conclusion.....65  
Conclusion générale.....66

## Liste des figures

### Chapitre I : Généralité sur les chambres froides.

Figure (1) : Diagramme enthalpique de compression.....	06
Figure (2) : Diagramme enthalpique de la condensation.....	06
Figure (3) : Diagramme enthalpique de détente.....	07
Figure (4) : Diagramme enthalpique d'évaporation.....	08
Figure (5) : La cloche de saturation.....	09
Figure (6) : Schéma du principe de fonctionnement d'une chambre froide.....	11
Figure (7) : Diagramme enthalpique de fonctionnement de la chambre froide.....	11
Figure (8) : Diagramme représentant un écart de température important.....	15
Figure (9) : Diagramme représentant un écart de température faible.....	15
Figure (10) : Influence de température d'évaporation sur les performances du système.....	17
Figure (11) : Influence de température de condensation sur les performances du système....	18
Figure (12) : Utilisation d'un échangeur pour accentuer le sous refroidissement et la surchauffe.....	18

### Chapitre II : Dimensionnement et isolation de la chambre froide.

Figure (13) : Les trois modes de transfert thermique.....	27
Figure (14) : Panneaux sandwich.....	29
Figure (15) : Isolation par l'intérieur et l'extérieur.....	30
Figure (16) : Isolation du sol d'une chambre froide.....	31
Figure (17) : Contrôle d'isolation thermique.....	33

### Chapitre III : Bilan thermique

Figure (18) : Échanges thermiques provoqués par l'ouverture des portes.....	37
Figure (19) : Les puissances autour d'une machine thermique.....	44

## Chapitre IV : Résultats et discussions

Figure (20) : Liste des fluides frigorigènes SOLKANE.....	45
Figure (21) : Les caractéristique thermos physiques du fluide choisis.....	46
Figure (22) : Cycle d'une chambre froide simple.....	49
Figure (23) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R134a.....	50
Figure (24) : Diagramme P-H du cycle simple R134a.....	50
Figure (25) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R32.....	51
Figure (26) : Diagramme P-H du cycle simple R32.....	51
Figure (27) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R404A. ....	52
Figure (28) : Diagramme P-H du cycle simple R404A.....	52
Figure (29) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R134a.....	53
Figure (30) : Diagramme P-H du cycle simple R134a.....	53
Figure (31) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R32.....	54
Figure (32) : Diagramme P-H du cycle simple R32.....	54
Figure (33) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R404A.....	55
Figure (34) : Diagramme P-H DU cycle simple R404A.....	55
Figure (35) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R134a.....	56
Figure (36) : Diagramme P-H du cycle simple R134a.....	56
Figure (37) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R32.....	57
Figure (38) : Diagramme P-H DU cycle simple R32.....	57
Figure (39) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R404A.....	58
Figure (40) : Diagramme P-H DU cycle simple R404A.....	58
Figure (41) : La variation du COP en fonction des Réfrigérants.....	59
Figure (42) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique R134a pour 100kW.....	62
Figure (43) : Diagramme P-H du cycle simple R134a pour 100kW.....	62
Figure (44) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique R32 pour100kW .....	63

Figure (45) : Diagramme P-H du cycle simple R32 pour 100kW.....	63
Figure (46) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique R404A pour 100kW.....	64
Figure (47) : Diagramme P-H du cycle simple R404A pour 100kW.....	64
Figure (48) : La variation du COP en fonction des réfrigérants.....	65

## **Liste des tableaux**

Tableau 1 : Température de conservation des denrées .....	02
Tableau 2 : Tableau représentant des exemples endothermiques et exothermiques.....	03
Tableau 3 : Représentation des états du fluide durant le cycle .....	13
Tableau 4 : Famille des fluides inorganiques purs .....	19
Tableau 5 : Famille des Fluides Hydrocarbures .....	20
Tableau 6 : Famille des Chloro-Fluor-Carbures .....	20
Tableau 7 : Famille des Hydro Chloro Fluoro Carbures .....	21
Tableau 8 : Famille des Hydro Fluoro Carbures .....	21
Tableau 9 : Famille des autres fluides.....	22
Tableau 10 : Caractéristiques du R-134a .....	22
Tableau 11 : Caractéristiques du R-32 .....	22
Tableau 12 : Caractéristiques du R-404A .....	23

## **Chapitre II : Dimensionnement et isolation de la chambre froide**

Tableau 13 : Les types d'isolants et leurs caractéristiques.....	32
--	----

## **Chapitre III : Bilan thermique**

Tableau 14 : Coefficient d'occupation du sol d'une chambre froide en fonction du type d'entreposage des marchandises.....	39
Tableau 15 : Nombre et durée des périodes de dégivrage à prévoir pour différentes chambres froides et meubles frigorifiques.....	42

## **Chapitre IV : Résultats et discussions**

Tableau 16 : ODP et GWP Des fluides frigorifiques.....	57
Tableau 17 : Résultats sur les performances des fluides frigorigènes.....	59
Tableau 18 : Variation et l'écart de température.....	60
Tableau 19 : : Résultats sur les performances des fluides frigorigènes.....	65

## Nomenclature

$Q_{tr}$	Charge thermique par transmission à travers les parois	KW
K	Facteur de correction	
A	Surface	m <sup>2</sup>
$\Delta T$	Difference de temperature	K
h	Coefficient de transfert thermique par convection	W/m <sup>2</sup> .K
$e_i$	Epaisseur	m
$\lambda_i$	Coefficient de tranfert de chaleur par conduction	W/m <sup>2</sup> .K
m	Masse	Kg
$\Delta h$	Difference d'enthalpie	J
$Q_{re}$	Charge thermique par renouvellement d'air	W
H	Hauteur	m
$Q_{op}$	Charge thermique par ouverture des portes	W
$\rho$	Masse volumique	Kg/m <sup>3</sup>
$\tau$	Durée de fonctionnement	s
$Q_{de}$	Charge thermique due aux denrées entrantes	W
C	Capacité thermique massique moyenne de la denrée	J/Kg/K
T	Temperature	K
$Q_{rés}$	Charge thermique due à la respiration des denrées	W
d	Densité d'entreposage	Kg/m <sup>3</sup>
$\eta$	Rendement	%
$Q_{éc}$	Charges thermiques dues à l'éclairage	W
P	Puissance	W
$Q_{pe}$	Charge thermique dues aux personnes	W
q	Quantité de chaleur dégagée	J
t	Temps	s
$Q_{ven}$	Charges thermiques internes liées à l'évaporateur	W
$Q_{dégi}$	Charge thermique internes due aux résistances de dégivrage	W
$\dot{Q}_0$	Puissance frigorifique	W

$\Delta t_u$	Facteur du sous refroidissement	
$\dot{Q}_n$	Puissance nominale du détendeur	W
Qf	Charge frigorifique froide	W
Qc	Charge frigorifique chaude	W

# **Introduction générale**

## Introduction générale

Industriellement, le froid est souvent produit par la vaporisation d'un liquide dont les vapeurs doivent être condensées à la température ambiante. La recherche de la puissance frigorifique maximum pour un encombrement minimum, a permis l'évolution constante des matériels utilisés à sa production et la réduction considérable de leurs poids. L'application du froid s'étend à divers domaines tels que la conservation des denrées alimentaires, l'industrie pharmaceutique, la liquéfaction des gaz, etc..... Dans les pays à climat chaud, les pertes de denrées périssables peuvent être très importantes, ce qui d'un côté réduit les revenus des producteurs et de l'autre côté, entraîne à une augmentation des prix des produits sur le marché. Si la production alimentaire est insuffisante, les pertes aggravent la situation. Mais, le problème que pose la conservation des aliments n'est guère simple, surtout dans un pays chaud comme l'Algérie, où il prend une importance particulière. [1]

Le principe de refroidir un objet ou un espace a été principalement développé et expérimenté vers la fin du 18e siècle et le début du 19e . A cette époque, les gens étaient surtout habitués à récolter la glace sous forme naturelle, afin de garder et entreposer leur nourriture pour une période prolongée. Plusieurs compagnies étaient reconnues pour leurs produits d'isolation thermique puisque les préoccupations étaient, d'abord et avant tout, de conserver cette glace plutôt que d'en créer. [3]

Donc ce travail consiste à étudier le rendement et l'efficacité d'une chambre froide en modifiant les fluides frigorigènes utilisés. Il se concentre sur l'analyse du coefficient de performance COP, qui est indicateur clé de son efficacité et le rendement thermique.

Ce mémoire s'organise autour de quatre chapitres et achevé par une conclusion générale :

- ✓ Le 1<sup>er</sup> chapitre est consacré à donner une vue sur la production du froid et des généralités sur les chambres froides.
- ✓ Le 2<sup>ème</sup> chapitre étudie le dimensionnement et l'isolation de la chambre froide.
- ✓ Le 3<sup>ème</sup> chapitre expose l'étude et le calcul des déperditions thermiques autour d'une chambre froide.
- ✓ Le 4<sup>ème</sup> chapitre présente en détail les résultats de la simulation SOLKANE avec leurs interprétations.

# **CHAPITRE I :**

## **Généralité sur les chambres froides.**

**Introduction :**

La vie moderne impose la conservation des produits alimentaires qui n'est possible que par leur refroidissement dans les chambres froides, en portant leur température au-dessous des certaines limites qui permet leur conservation à court ou à long terme. Il existe plusieurs systèmes frigorifiques de production de froid, le plus utilisé est le système frigorifique de compression mécanique de vapeur. Le principe de ce système est de faire circuler un fluide actif (qui est le fluide frigorigène) dans un cycle, appelé cycle frigorifique et de récupérer la chaleur de vaporisation de ce fluide pour produire le froid. Les systèmes frigorifiques à compression mécanique de vapeur sont constitués essentiellement par une machine frigorifique, qui assure la production du froid. [4]

**1.2 Définition des chambres froides :**

Une chambre froide est une grande installation industrielle utilisée pour l'entreposage de denrées périssables afin de les conserver à basse température. Elle rend possible le refroidissement d'un corps par l'extraction d'une partie de sa chaleur. Ses façades, son plafond, et son plancher sont thermiquement isolés. Les chambres froides sont très utiles aux grandes et moyennes surfaces (à la restauration, aux entrepôts, aux laboratoires, à l'industrie de la pétrochimie, de l'agroalimentaire, etc.) [12]. Elles sont utilisées pour conserver les produits alimentaires dans un bon état de qualité en vue d'une consommation ultérieure. L'avantage est qu'elles gardent l'aspect initial du produit, ceci en évitant toute perte de couleur, de poids et de qualité. Selon le produit à traiter, les calculs d'une chambre froide doivent satisfaire trois conditions :

- La température.
- L'hygrométrie.
- La ventilation.

La grandeur physique fondamentale est la température, ainsi existe-t-il deux types de chambres froides selon cette dernière à l'intérieur du milieu à refroidir : les chambres froides positives et les chambres froides négatives.[5]

On distingue deux catégories générale de chambres froides :

- Les chambres froides positives.
- Les chambres froides négatives.

### 1.2 L'objectif d'utilisation des chambres froides :

Éviter aux nourritures de s'abimer car chaque produit a une température bien déterminée pour le stocker dans les conditions normales.

Température positive ( $0 < T \leq 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) Réfrigération	Chambre froide poisson	2 à 4 c°
	Chambre froide fruit et légumes	4 à 6 c°
	Chambre froide pâtisserie	2 à 4 c°
	Chambre froide viande	2 à 4 c°
	Chambre froide de jour	2 à 4 c°
	Cave à vin conditionnée	10 à 12 c°/HR 75 %
	Local de tranchage	10 c°
Température négative ( $T \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) Congélation	Local de stockage des déchets	10 c°
	Crèmes glacées	-18c°
	La pêche congelée	-18c°
	Poisson entier congelés	-9c°
	Congélateur	-20 à -30 c°

Tableau (1) : Température de conservation des denrées. [13]

Les chambres froides sont utilisées pour conserver les produits alimentaires dans un bon état de qualité en vue d'une consommation ultérieure.

Les chambres froides évitent :

- Les pertes de couleurs du produit.
- Les pertes de qualité du produit.
- Les pertes de valeur.
- Les pertes de poids des produits entreposés. [13]

### 1.3.2 Classification des chambres froides selon le mode de fonctionnement:

#### 1.3.2.1 Phénomène de transfert thermique :

Afin d'extraire de la chaleur d'un milieu froid vers un milieu chaud on utilise un fluide frigorigène comme vecteur, celui-ci est la base de phénomènes physico- chimiques permettant de prélever, de transférer et de restituer la chaleur.

<b>Phénomène endothermique</b>	<b>Phénomène exothermique</b>
Fusion d'un solide	Solidification d'un liquide
Vaporisation d'un solide	Condensation en phase solide
Sublimation d'un solide	Condensation d'une vapeur
Désorption d'un gaz ou d'une vapeur (d'un liquide ou d'un solide)	Absorption ou adsorption d'un gaz ou d'une vapeur
Détente d'un gaz comprimé	Compression d'un gaz

Tableau (2) : Tableau représentant des exemples endothermiques et exothermiques []

### **1.3.2.2 Machine utilisant la vaporisation d'un frigorigène :**

La présentation de ces machines utilisant le phénomène de vaporisation d'un frigorigène, la manière dont les vapeurs issues de l'évaporateur sont aspirées permet de distinguer les différents types des machines suivantes

#### **1.3.2.2.1 Machine à compression :**

Les vapeurs issues de l'évaporateur sont aspirées par un compresseur mécanique. En raison de leurs simplicités et leurs efficacités ces machines sont les plus répandues, consommant exclusivement de l'énergie mécanique.

#### **1.3.2.2.2 Machine à absorption :**

Le principe de fonctionnement d'une machine à absorption est le même que pour un système classique à compression, avec un fluide frigorigène qui se vaporise à basse température (production de froid) et se condense à plus haute température (rejet de chaleur). Le compresseur mécanique est remplacé par un compresseur thermochimique (désorbeur absorbeur) qui utilise un couple réfrigérant liquide absorbant et une source de chaleur motrice.

#### **1.3.2.2.3 Machines à adsorption :**

Dans le cas le plus simple, la machine comporte les composants suivants :

- Un adsorbeur contenant l'adsorbant solide, en contact avec une source chaude, il joue pour le cycle à adsorption, le rôle joué par le compresseur (aspiration et compression) dans un cycle à compression de vapeur.

- Un condenseur, en contact avec une source intermédiaire dans lequel le réfrigérant se condense à la pression de condensation.
- Un réservoir, qui sert à stocker le réfrigérant liquide provenant du condenseur.
- Une vanne de détente V3.
- Un évaporateur, en contact avec la source froide, dans lequel le réfrigérant se vaporise à pression d'évaporation.
- Deux clapets anti-retour V1 et V2.

#### **1.3.2.2.4 Machine à éjection :**

Dans ce type de machines frigorifique, le compresseur mécanique est remplacé par un éjecteur. Celui-ci fonctionne grâce à l'énergie cinétique de la vapeur motrice (généralement de même nature que la vapeur de frigorigène) qui, par l'injecteur, pénètre dans la partie convergente de l'éjecteur. La compression du mélange des vapeurs motrices et de frigorigène s'effectue dans la partie divergente, ces systèmes ont une application assez rare.

### **1.5 Le circuit frigorifique**

L'objectif d'un circuit frigorifique est principalement de refroidir un local. Que ce soit pour le confort des personnes avec la climatisation ou pour refroidir des denrées ou un process avec la réfrigération. Le circuit frigorifique peut aussi dans le cas d'une pompe à chaleur servir à chauffer.

Le circuit frigorifique est composé de quatre composants de bases, comme on peut le voir par la suite (un compresseur, condenseur, détendeur, évaporateur). A partir de là, d'autres composants peuvent-être ajoutés, pour la régulation ou la sécurité du système.

#### **1.5.1 Les composants principaux d'un circuit frigorifique**

##### **1.5.1.1 Le compresseur**

Le compresseur est une des pièces maitresses du circuit. Il permet de faire circuler le fluide frigorigène en le comprimant. Le compresseur aspire des vapeurs basses pressions (BP) et basses températures qui quittent l'évaporateur pour les refouler en haute pression (HP).

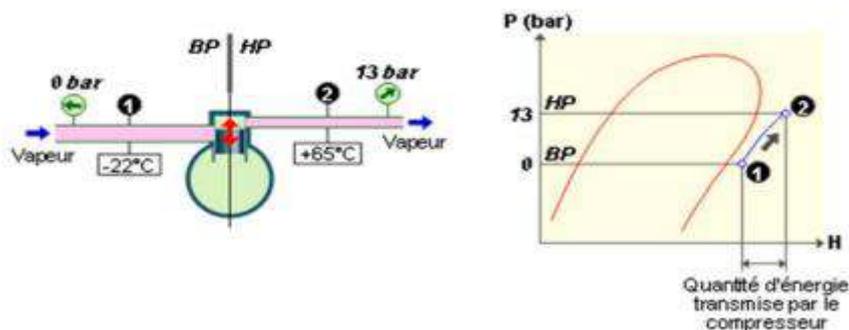


Fig (1) : Diagramme enthalpique de compression. [8]

### 1.5.1.2 Le condenseur

Le rôle du condenseur est d'évacuer la chaleur du circuit. Pour cela, le condenseur reçoit du fluide sous forme de vapeur HP à une température élevée, environ 50 à 70°C sur les circuits classiques.

La chaleur est transférée du fluide vers le médium de refroidissement généralement de l'air ou de l'eau. En se refroidissant, le fluide va atteindre sa température de condensation. En se condensant, le fluide cède sa chaleur au fur et à mesure qu'il passe de l'état vapeur à liquide.

A la sortie du condenseur, le fluide est totalement à l'état de liquide et toujours HP.

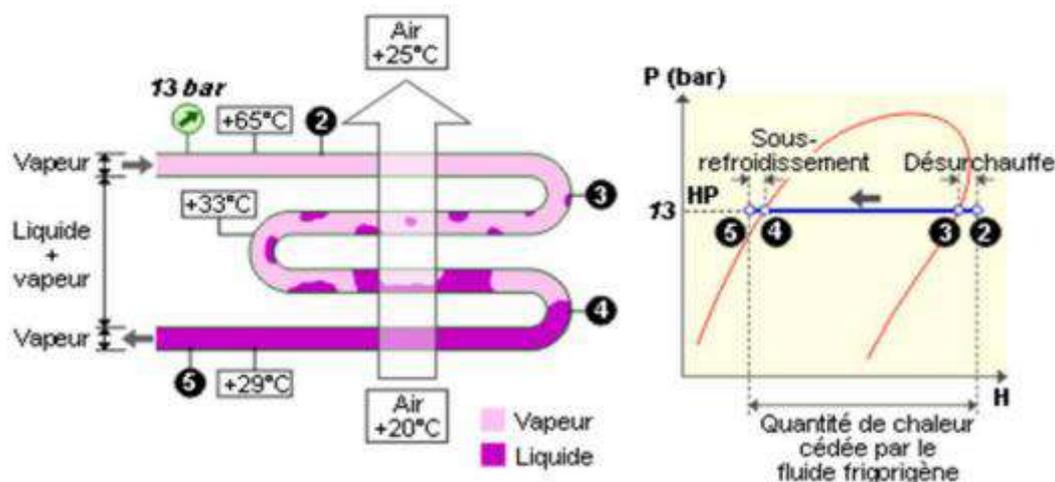
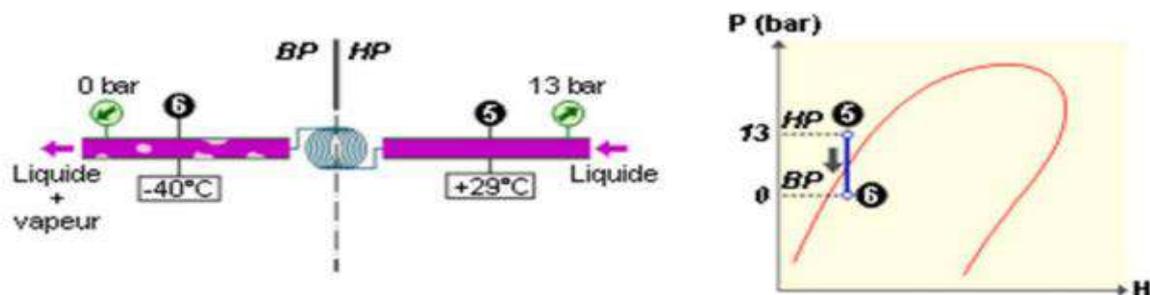


Fig (2) : diagramme enthalpique de la condensation [8]

### 1.5.1.3 Le détendeur :

C'est le composant clé du circuit qui permet au fluide de passer de l'état liquide HP à l'état mélange BP. Cet abaissement de pression, crée une chute de température permettant au fluide d'être plus froid que le médium dans l'évaporateur. Plusieurs types de détendeur existent, du plus simple de type capillaire comme dans un réfrigérateur au plus sophistiqué comme dans une climatisation avec un détendeur électronique.



Fig(3) : Diagramme enthalpique de détente [8]

### 1.5.1.4 L'évaporateur

L'évaporateur est lui aussi primordial puisque son rôle est de capter la chaleur du local à refroidir. Il capte cette chaleur en évaporant (passage de l'état liquide à vapeur) le fluide frigorigène qu'il contient. Le fluide arrive à l'évaporateur sous forme de mélange liquide vapeur, à basse pression et à basse température, entre 5 et 10°C de moins que l'air ou le liquide à refroidir.

De cette manière, la chaleur est transférée du médium à refroidir vers le fluide frigorigène qui la capte en s'évaporant.

À la sortie de l'évaporateur, le fluide est totalement sous forme de vapeur (hors cas particulier) avant d'être aspiré par le compresseur. [9]



est possible également d'avoir un pressostat HP de régulation pour réguler les ventilateurs du condenseur.

Coté BP, le pressostat permettra d'empêcher la pression BP de descendre en dessous de la pression atmosphérique. Si cela arrivait, en cas d'imperfection de l'étanchéité, de l'air entrerait dans le circuit. L'air est nuisible pour le fluide frigorigène.

### La vanne de service :

Les vannes de service d'un climatiseur, ont pour objectif de pouvoir stocker le fluide frigorigène dans l'unité extérieure du climatiseur. Cette opération est utile pour les phases d'installation, de maintenance ou de démantèlement de l'appareil. Il s'agit de vannes deux positions, ouverte ou fermée. Dans la réfrigération, ces vannes peuvent avoir trois positions. En plus de leur rôle de vanne, elles permettent le raccordement des flexibles du manifold pour tirer au vide le circuit, ajouter ou enlever du fluide frigorigène, ou encore contrôler les pressions de fonctionnement. [9]

### 1.5.2 Le diagramme enthalpique :

Le diagramme enthalpique, aussi appelé diagramme de Mollier, est une notion importante dans la compréhension du cycle frigorifique. Il s'agit d'un graphique spécifique à chaque fluide exprimant son niveau de saturation pression-température sous forme de cloche. L'axe des abscisses exprime l'enthalpie du fluide soit la quantité d'énergie contenue pour 1 kg de ce dernier. L'axe des ordonnées est consacré à la pression. De manière très simplifiée, voici un diagramme d'enthalpie montrant la cloche de saturation d'un fluide:

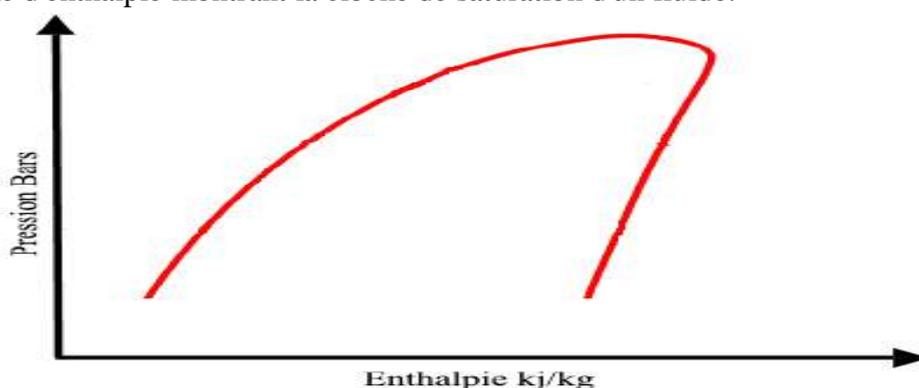


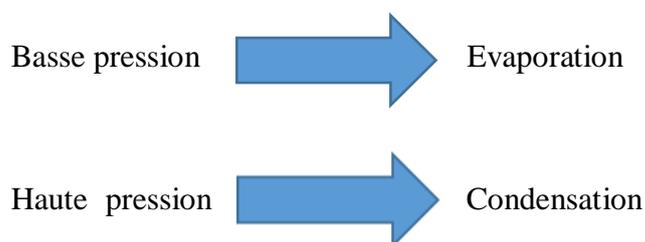
Fig (5) : La cloche de saturation. [10]

### 1.5.3 Fonctionnement du cycle frigorifique :

Le principe de fonctionnement d'un cycle frigorifique repose sur le prélèvement d'énergie calorifique à basse température, son transport, et son rejet à température élevée.

Le fluide liquide est amené à une pression basse où son point d'évaporation est réduit. La chaleur nécessaire à son passage à l'état gazeux est captée dans le milieu. Le fluide est ensuite comprimé et amené à haute pression où sa température de condensation (soit son passage de l'état gazeux à liquide) sera bien moindre. La chaleur doit se débarrasser pour changer d'état est relâchée et le fluide redevient liquide. Il est ensuite détendu à basse pression et le cycle peut recommencer.

En résumé :



Il est à noter que le fluide utilisé est choisi selon sa capacité à absorber/ relâcher la chaleur à des pressions données. Chaque fluide possède ses caractéristiques et certains fluides seront par exemple davantage utilisés pour créer du chaud alors que d'autres correspondront plus à la création de froid.

Afin de comprendre comment fonctionne le cycle frigorifique, il est important de considérer chacune de ses étapes et leur fonctionnement spécifique.

Ce cycle comporte 4 étapes principales à savoir

L'évaporation

La compression

La condensation

La détente

Selon l'étape, le fluide sera à pression, température et/ou état différent. Le changement de pression est la clé du système frigorifique car elle permet au fluide d'être dans les conditions idéales pour capter ou relâcher les calories. [10]

Voici un schéma-type d'un cycle frigorifique en rapport avec le diagramme enthalpique :

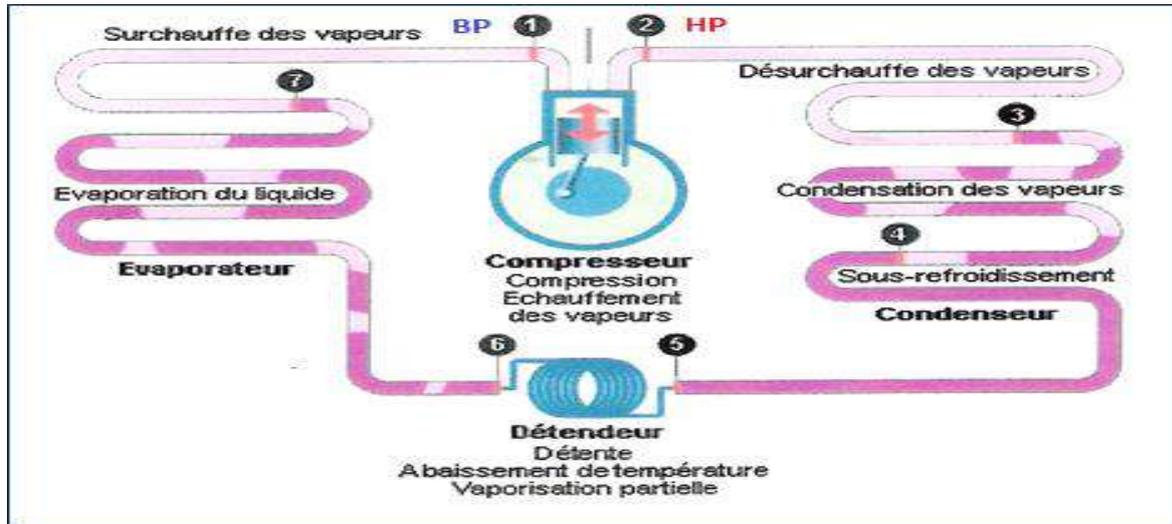


Fig (6) : Schéma du principe de fonctionnement d'une chambre froide. [10]

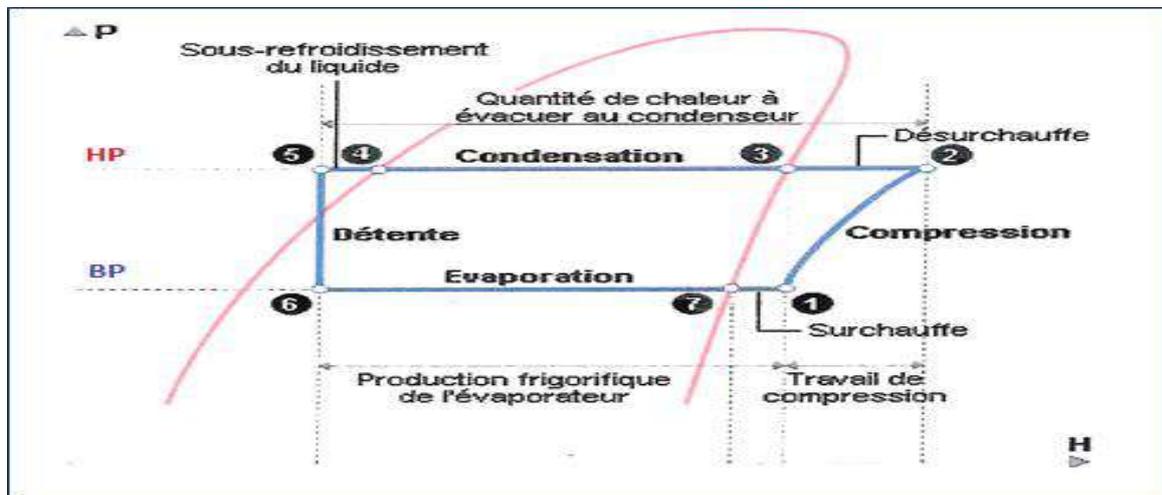


Fig (7) : Diagramme enthalpique de fonctionnement de la chambre froide. [10]

Voici un descriptif de chaque étape :

**Compression (1-2) :**

La compression est opérée par le compresseur. Celui-ci est un élément du système chargé d'amener le fluide de la basse pression à la haute pression. Il va compresser le fluide afin d'y augmenter la pression.

Le compresseur est généralement entraîné grâce à de l'énergie électrique et la compression s'y fait la plupart du temps de manière mécanique.

Il est important que le fluide soit entièrement à l'état gazeux pour cette étape car de nombreux compresseurs sont sensibles aux coups de liquide c'est-à-dire à la compression d'un liquide. Le fluide à l'état liquide ne réclamant pas les mêmes conditions de compression, il risque de gravement endommager le compresseur s'il y est amené. C'est pourquoi des dispositifs sont prévus pour empêcher ce type d'accident. Nous y reviendrons plus loin.

Par ailleurs, de nombreux compresseurs nécessitent une lubrification constante afin de fonctionner correctement. On mêle alors de l'huile spécialement adaptée au fluide frigorigène lorsqu'il passe par le compresseur.

**Condensation (3-4) :**

A ce niveau, le fluide est à haute pression et chargé des calories captées à l'évaporateur. Son niveau de pression le rend très enclin à céder la chaleur dont il est chargé. Il passe dans un échangeur appelé condenseur où toutes ses calories vont être relâchées alors qu'il repasse à l'état liquide en se condensant. On dit que le milieu dans lequel l'échangeur est installé est la source chaude du cycle.

Dans le cas de production de froid, la chaleur relâchée au condenseur peut être soit perdue dans l'environnement soit récupérée selon les cas. La récupération nécessitera alors un dispositif adéquat.

Dans le cas de production de chaleur, c'est l'énergie relâchée par le condenseur qui va être utilisée pour chauffer les locaux. Il faudra donc veiller à ce qu'elle soit maximale.

**Sous-refroidissement (4-5):**

Le fluide est sous-refroidi afin d'assurer son passage total à l'état liquide.

Le sous-refroidissement est généralement de 4 à 7°C.

Contrairement à la surchauffe, il n'est pas toujours contrôlé car ne présente pas un danger direct pour les composants de l'installation.

Il a néanmoins une influence sur l'efficacité du cycle et doit être pris en compte.

**Détente (5-6) :**

Au niveau de la détente, le fluide frigorigène déchargé de ses calories est ramené de haute pression à basse pression. Cette diminution de pression est nécessaire afin d'amener le fluide dans des conditions où il pourra à nouveau capter de la chaleur de manière optimale.

Le détendeur est également un dispositif de régulation de débit dans l'installation. Il est pour cela relié de manière physique ou électronique à la sortie de l'évaporateur où il mesure la température du fluide. Il modulera ensuite le débit en fonction de cette dernière.

**Evaporation (6-7):**

Elle est mise en œuvre grâce à un échangeur de chaleur appelé évaporateur. On dit qu'il se situe au niveau de la source froide. Le fluide frigorigène y capte la chaleur de l'ambiance afin de passer de l'état liquide à l'état gazeux. Il est alors à basse pression et sa température d'évaporation est faible.

Dans le cas de production de froid, on place l'évaporateur dans l'espace à refroidir. Dans le cas d'une pompe à chaleur utilisée pour faire du chaud, l'évaporateur sera placé dans le milieu fournissant les calories.

**Surchauffe (7-1)**

On provoque la surchauffe en sortie d'évaporateur pour s'assurer que tout le fluide soit passé à l'état gazeux. On évite ainsi les coups de liquide et on assure le bon fonctionnement de l'installation.

Il faut également maintenir une surchauffe raisonnable afin de pouvoir convenablement désurchauffer les gaz après la compression. Une surchauffe trop élevée a une incidence sur le taux de compression du fluide et donc sur l'efficacité du compresseur.

La surchauffe est généralement de 5 à 8°C.

La surchauffe est contrôlée par le détendeur. Si elle augmente, le détendeur laisse passer davantage de fluide ce qui augmente le débit. Si le débit augmente, la surchauffe diminuera.

Si par contre la surchauffe diminue, le détendeur réduit le débit de l'installation. Un débit plus faible permet d'augmenter la surchauffe et donc de la rééquilibrer. [10]

Voici un tableau reprenant les différentes caractéristiques du fluide selon son emplacement dans le cycle :

Emplacement du fluide	Niveau de pression	Etat du fluide	Niveau de température
Evaporateur (6-7)	Basse pression	Passage à l'état gazeux	Passage à température élevée
Circuit évaporateur-compresseur (7-1)	Basse pression	Gazeux	Elevée
Compresseur (1-2)	Passage en haute pression	Gazeux	Elevée
Circuit compresseur-condenseur (2-3)	Haute pression	Gazeux	Elevée
Condenseur (3-4)	Haute pression	Passage à l'état liquide	Passage à basse température
Circuit condenseur détendeur (4-5)	Haute pression	liquide	Basse
Détendeur (5-6)	Passage à basse pression	Liquide	Basse
Circuit détendeur-évaporateur	Basse pression	liquide	Basse

Tableau(3) : représentation des états du fluide durant le cycle. [10]

### 1.5.3 Le cycle frigorifique et le COP

Pour rappel, le COP est le coefficient d'efficacité d'une installation produisant ou transférant de la chaleur. Au niveau du cycle frigorifique, il varie en fonction de l'écart de température (appelé "delta t") entre la source froide et la source chaude.

Autrement dit, si on désire une température de local élevée alors que la température extérieure est basse, le COP va diminuer. L'inverse est également vrai.

Plus précisément, une diminution de 1 K de la source froide va diminuer le COP de 1,8 %. Une augmentation de 1 K de celle-ci permettra en revanche d'augmenter le COP de 1,6%.

Voici 2 exemples de cycles frigorifiques dont on peut constater les différents delta t entre source chaude et source froide. [10]

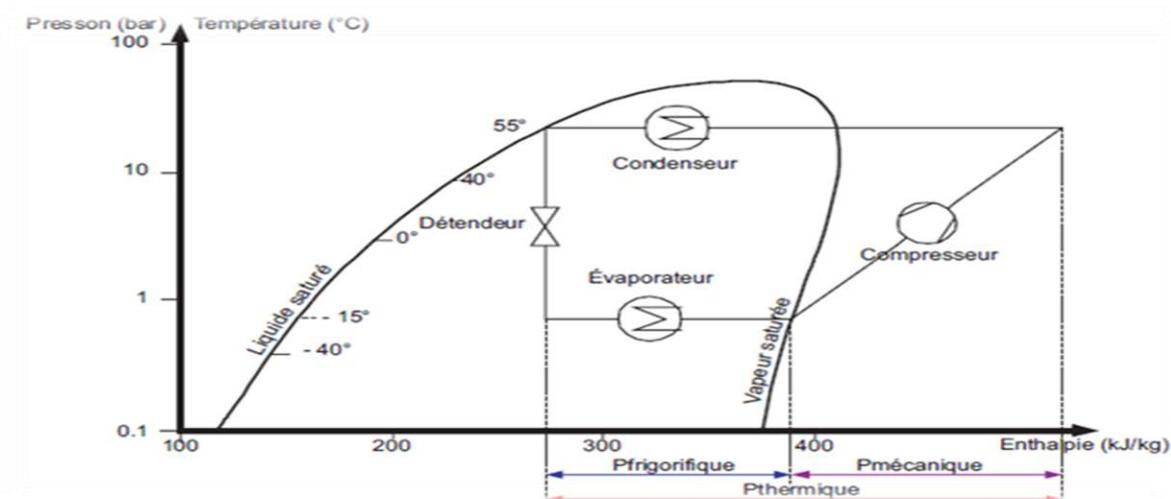


Fig (8) : Diagramme représentant un écart de température important. [10]

L'écart dans ce diagramme est important. Comme on peut observer, températures et pressions sont intimement liées et un delta t élevé entrainera un plus grand écart HP-BP. On constate que, pour faire passer le fluide de basse pression à haute pression, le compresseur devra fournir un travail mécanique important par rapport à la puissance thermique globale. Cela aura un impact sur le COP qui diminuera. [10]

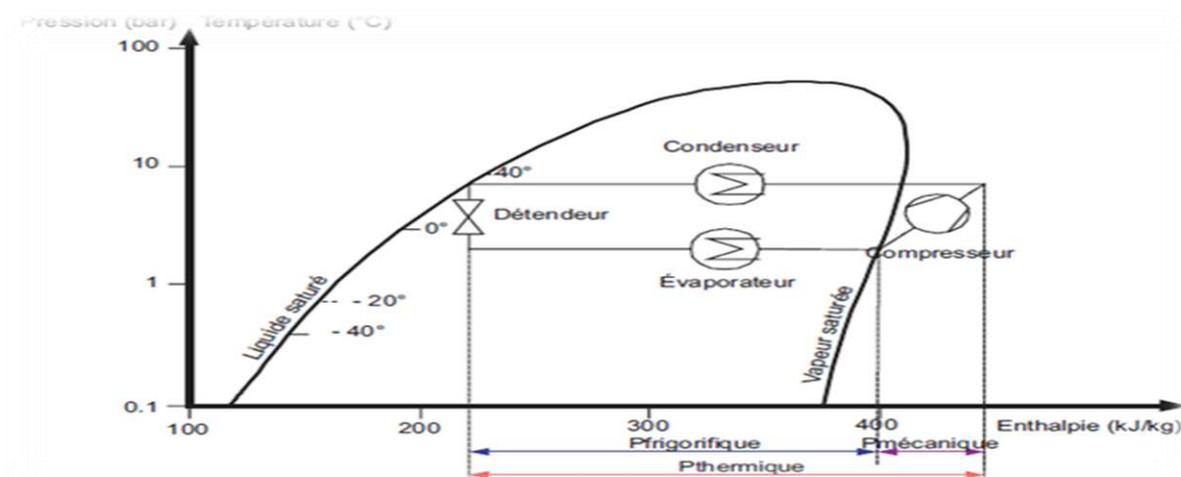


Fig (9) : Diagramme représentant un écart de température faible. [10]

A l'inverse, ce diagramme est celui d'un cycle frigorifique où l'écart de température est faible. On peut constater que le travail mécanique à fournir par le compresseur sera faible par rapport à la puissance thermique dégagée. Cela aura pour conséquence un COP plus élevé. [10]

### **1.6 Conditions de fonctionnement et caractéristiques d'une machine frigorifique :**

Les caractéristiques de fonctionnement d'une machine frigorifique, ou d'une pompe à chaleur, à compression mono-étagée (puissance frigorifique ou calorifique, coefficient de performance, puissance absorbée) dépendent plus ou moins fortement des paramètres suivants:

- la température (ou pression) d'évaporation.
- la température (ou pression) de condensation.
- la surchauffe de la vapeur à l'aspiration.
- le sous refroidissement du liquide.

Les valeurs de ces paramètres fixent les conditions de fonctionnement de la machine frigorifique. Examinons l'influence de ces paramètres sur la puissance frigorifique (ou calorifique) et le coefficient de performance. [4]

#### **1.6.1 La température d'évaporation :**

La charge frigorifique  $Q_f$  produite par kg de fluide est représentée sur le diagramme P-h par le segment de droite (5,1). Quand la pression d'évaporation diminue tandis que les trois autres paramètres sont maintenus constants,  $Q_f$  diminue également alors que la puissance absorbée par le compresseur augmente, car  $h_5$  restant constante,  $h_1$  décroît et  $h_2$  augmente comme illustré sur la figure 10 ; ce qui provoque une chute du coefficient de performance. Les principales causes d'une baisse anormale de la température dans l'évaporateur sont les suivantes:

- des bouchons d'huile obturent la conduite d'aspiration, notamment si la vitesse de la vapeur est insuffisante.
- le débit d'huile entraînée avec le fluide frigorigène est anormalement grand, ce qui altère le transfert de chaleur.
- La batterie froide est givrée de façon excessive, éventuellement avec réduction du débit du ventilateur. Pour éviter les conséquences d'une baisse anormale de la température d'évaporation, on utilise un pressostat basse pression et dans certains cas, également un robinet à pression constante. [4]

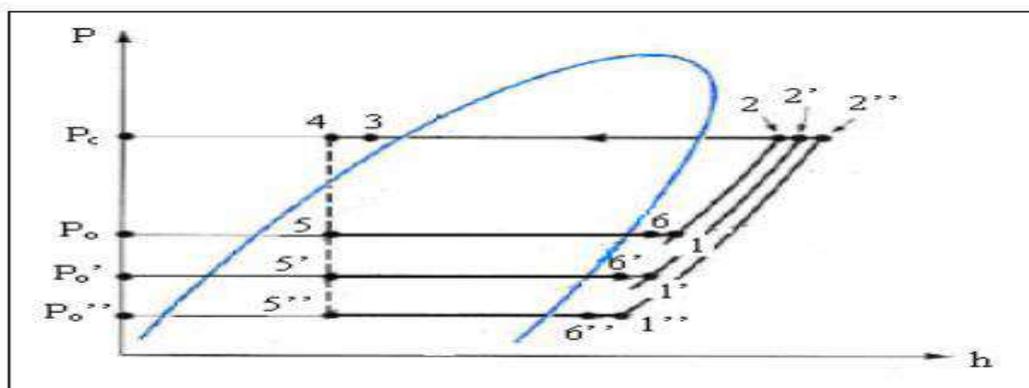


Fig (10) : Influence de température d'évaporation sur les performances du système. [4]

### 1.6.2 Température de condensation

Une température de condensation ne doit pas devenir trop importante pour des raisons évidentes de sécurité, mais aussi pour des raisons de performance énergétique. En fonctionnement normal, il peut être nécessaire de régler la pression de condensation pour éviter qu'elle ne devienne trop faible. En particulier, dans le cas de l'injection directe, le débit frigorigène délivré par le détendeur thermostatique, même à ouverture maximale, peut être insuffisant, si l'écart entre la pression de condensation et celle d'évaporation devient trop petit. De plus, une pression de condensation trop basse peut engendrer un phénomène de vaporisation (flash gaz) dans la conduite de liquide à l'aval du condenseur. Une température de condensation trop élevée diminue la puissance frigorifique, car  $h_1$  restant constant,  $h_5$  augmente comme illustré sur la figure 1.8. Il faut noter cependant que cette décroissance est plus faible que celle résultant d'un abaissement équivalent de la température d'évaporation. D'un autre côté, cette élévation de la température de condensation conduit à une augmentation du travail de compression, donc elle entraîne une chute du coefficient de performance. Les principales causes d'élévation de la température de condensation sont les suivantes - une montée de la température de l'air de refroidissement altère le transfert de chaleur et diminue la quantité de chaleur évacuée; - la surface d'échange dans un condenseur pourrait devenir anormalement réduite, par

suite du remplissage partiel du condenseur en frigorigène liquide; cet incident peut résulter d'une charge excessive en fluide frigorigène. [4]

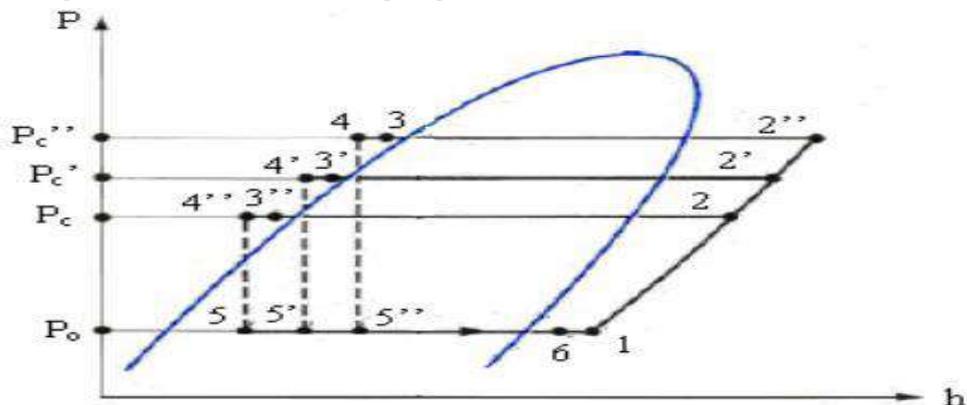


Fig (11) : Influence de température de condensation sur les performances du système. [4]

Les dispositifs de contrôle de la pression de condensation dépendent du type de condenseur utilisé. Dans le cas d'un condenseur à eau, on utilise soit un robinet à eau pressostatique, soit un régulateur de pression ou un dispositif thermostatique antigel. Dans le cas d'un condenseur évaporatif, on utilise soit un pressostat haute pression, soit un régulateur de pression, soit enfin un dispositif thermostatique antigel. Dans le cas d'un condenseur à air, on utilise soit des volets pressostatiques, soit un régulateur de pression, soit encore un convertisseur de fréquences.

### 1.6.3 Le sous-refroidissement

Pour accroître le sous refroidissement du liquide frigorigène avant son entrée dans le détendeur, on peut le faire circuler dans un échangeur à contre-courant par rapport à la vapeur du frigorigène sortant de l'évaporateur figure 1.9. La vapeur s'y réchauffe avant son aspiration tandis que le sous refroidissement du liquide frigorigène s'accroît. [4]

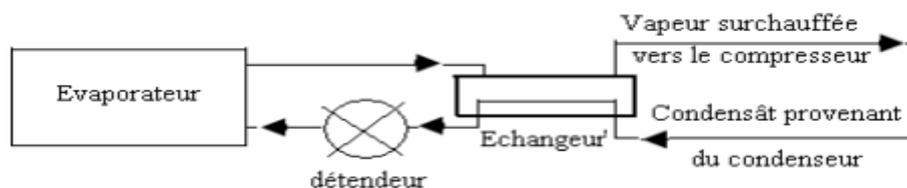


Fig (12) : Utilisation d'un échangeur pour accentuer le sous refroidissement et la surchauffe. [4]

## 1.7 Les fluides frigorigènes

### 1.7.1 Définition

On appelle fluides frigorigènes ou réfrigérant des corps chimiques capables d'absorber de la chaleur d'un autre corps ou d'une autre substance. [7]

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.

### 1.7.2 Nomenclatures des fluides frigorifiques :

La nomenclature des fluides frigorigènes est très précise. Elle concerne aussi bien les fluides halogénés que les fluides naturels. Un fluide frigorifique halogéné comprend quatre types d'atomes, le carbone (C), le fluor (F), le chlore (Cl) et l'hydrogène (H). Pour caractériser un fluide frigorigène on utilise la notation R-xyz où

- la lettre R signifie réfrigérant en anglais;
- x représente le nombre d'atomes du carbone moins un ( $x=C-1$ ) ;
- y représente le nombre d'atomes de l'hydrogène plus un ( $y=h+1$ );
- z représente le nombre d'atomes du fluor.

Lorsque la molécule peut donner lieu à des isomères, une lettre minuscule est utilisée pour caractériser la symétrie de la molécule.

### 1.7.3 Propriétés des fluides frigorigènes

Un fluide frigorigène parfait devra présenter les caractéristiques suivantes :

- ♣ chaleur latente de vaporisation élevée.
- ♣ Point d'ébullition, sous pression atmosphérique, suffisamment bas compte tenu des conditions de fonctionnement désirées (température d'évaporation).
- ♣ Faible rapport de compression, c'est-à-dire faible rapport entre les pressions d'aspiration et de refoulement.
- ♣ Faible volume massique de la vapeur saturée, rendant possible l'utilisation d'un compresseur et de tuyauteries réduites.

- ♣ Température critique très élevée.
- ♣ Pas d'action sur le lubrifiant utilisé conjointement avec le fluide.
- ♣ Composition chimique stable dans les conditions de fonctionnement de la machine frigorifique.
- ♣ Pas d'action sur les métaux composant le circuit, et sur les joints.
- ♣ Etre d'un coût peu élevé et d'un approvisionnement facile.

Et bien sûr en cas de fuite il devra présenter les qualités suivantes :

- ♣ Non inflammable et non explosif en mélange avec l'air.
- ♣ Sans effet sur la santé des personnes.
- ♣ Sans action sur les denrées à conserver.
- ♣ Fuites faciles à détecter et à localiser par méthode visuelle.
- ♣ Pas d'affinité pour les constituants de l'atmosphère.[7]

#### 1.7.4 Types des fluides

Les fluides peuvent être classés en quatre familles:

##### *a) Famille des fluides inorganiques purs*

Les fluides de cette famille sont principalement composés :

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

FLUIDES INORGANIQUE PURS		
R717	R718	R744

Tableau(4) : Famille des fluides inorganiques purs [14]

**b) Famille des Fluides Hydrocarbures**

Les fluides de cette famille peuvent être composés :

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

Famille des Fluides Hydrocarbures				
RC270	R290	R600	R600a	R1270

Tableau(5) : Famille des Fluides Hydrocarbures [14]

**c) Famille des fluides Hydrocarbures halogénés**

Les fluides de cette famille sont très largement utilisés mais font désormais l'objet d'interdictions, notamment pour des raisons de toxicité environnementale.

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

**• LES CFC (Chloro-Fluor-Carbures)**

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

LES CFC (Chloro-Fluor-Carbures)				
R11	R12	R113	R115	R502

Tableau (6) : Famille des Chloro-Fluor-Carbures [14]

• LES HCFC (Hydro Chloro Fluoro Carbures)

Il s'agit de la seconde génération d'hydrocarbures halogénés utilisés en tant que fluides frigorigènes. Ce sont des composants chimiques formés de chlore, de fluor, d'hydrogène et de carbone. Ils sont dangereux pour l'environnement et feront l'objet d'une interdiction vers 2015.

LES HCFC (Hydro Chloro Fluoro Carbures)								
R12	R22	R123	R124	R124b	R401 A	R402 A	R408 A	R409 A

Tableau (7) : Famille des Hydro Chloro Fluoro Carbures [14]

• LES HFC (Hydro Fluoro Carbures)

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

LES HFC (Hydro Fluoro Carbures)								
R32	R125	R134a	R143a	R152a	R404a	R407c	R410a	R507A

Tableau (8) : Famille des Hydro Fluoro Carbures [14]

d) Famille des autres fluides

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

- Les éthers oxydes
- Les amines aliphatiques
- Les alcools, le méthanol et l'éthanol
- Les composés tri halogénés, fluorés chlorés et bromés (HBCFC, BCFC). [14]

<i>Famille des autres fluides</i>			
R630	R631	R12B1	R13B1

Tableau (9) : Famille des autres fluides [14]

### 1.7.5 Choix du fluide frigorigène

Dans notre étude, on choisit d'utiliser une combinaison de fluides frigorigènes le R-134a, le R-32, et le R-404a, grâce aux caractéristiques et applications suivantes :

#### 1.7.5.1 R-134a :

Nature	Hydrofluorocarbure
Mélange	Fluide pur
Composition	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub> , tétrafluoroéthane
Glissement	Nul
Température critique	+ 101.1 °C
Température d'ébullition	- 26.1 °C (Pression atmosphérique)
Chaleur latente de vaporisation	élevée
Pression critique	40.67 Bar
ODP*	00
GWP*	1430

Tableau (10) : Caractéristiques du R-134a [5]

#### 2.7.5. R-32 :

Nature	Hydrofluorocarbure
Mélange	Fluide pur
Composition	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> , difluorométhane
Glissement	Nul
Température critique	+ 78.25 °C
Température d'ébullition	- 51.7 °C (Pression atmosphérique)
Chaleur latente de vaporisation	élevée
Pression critique	0.05808 Bar
ODP*	00
GWP*	657

Tableau (11) : Caractéristiques du R-32 [15]

**2.7.6. R-404A :**

Nature	Hydrofluorocarbure
Mélange	Zéotrope
Composition	52% R134a 44% R125 4% R134a
Glissement	0.9 °C à 0.3 bar
Température critique	+ 72,07 °C
Température d'ébullition	- 45.8 °C (Pression atmosphérique)
Chaleur latente de vaporisation	élevée
Pression critique	3 731,5 kPa
ODP*	00
GWP*	3922

Tableau (12) : Caractéristiques du R-404A [5]

**Conclusion**

Le chapitre sur les généralités des chambres froides présente un aperçu de leur fonctionnement, composants, propriétés et impact sur la conservation des produits alimentaires, industriels et pharmaceutiques.

Le fonctionnement d'une chambre froide repose sur la capacité des fluides frigorigènes à s'évaporer ou à se condenser. Pour avoir un meilleur rendement il faut assurer une meilleure isolation et un équilibre thermique.

# **CHAPITRE II :**

## **Dimensionnement et isolation de la chambre froide**

## Introduction

La production du froid à énergie mécanique est onéreuse, afin d'éviter ces surcoûts, on doit bien isoler les parois des locaux refroidis pour empêcher la chaleur de pénétrer à travers ces parois ; Ceci dépend des matériaux utilisés et les affectations des pièces à isoler. Ceci permet une économie énergétique. [6]

Pour les chambres froides l'épaisseur de l'isolant doit être calculée de façon à limiter les entrées de chaleur (les déperditions) à  $8\text{W/m}^2$  pour une chambre à réfrigération et à  $6\text{W/m}^2$  pour une chambre à congélation. Pour qu'un matériau soit isolant il faut qu'il soit constitué par un grand nombre de cellules fermées contenant de l'air sec, au repos, ou d'autres gaz qui ont une très faible conductivité thermique. [7]

### 2.1 Dimensionnement de la chambre froide :

La fabrication et l'installation des chambres froides répondent à des normes de sécurité et d'hygiène. Les normes en vigueur sont NF E 35-400 pour l'installation frigorifique et NF C 15-100 pour l'installation électrique. Le respect de cette norme a une influence primordiale sur la qualité des produits distribués et la protection du consommateur.

#### 2.1.1 Le sol

Le sol doit être préparé à recevoir l'isolant par la réalisation d'une forme en béton maigre, D'une pente généralement de  $1\text{ cm / m}$ , puis une couche de pare-vapeur. L'isolant est posé sur L'écran pare-vapeur en deux couches à joints croisés.

Une dalle en béton de gravillons d'une épaisseur minimum de  $60\text{ mm}$ , armée d'un treillis soudé, est coulée sur l'isolant. Cette dalle est terminée par une chape d'usure.

Dans le cas des chambres froides à température négative, des précautions doivent être prises contre le gel du sol (réaliser un vide sanitaire).

#### 2.1.2. Les parois verticales

Les murs de soutien sont en briques couvertes d'une couche d'enduit de ciment de l'extérieur.

L'isolant est posé en couches à joints croisés. La première couche, est collée et maintenue

contre la paroi à l'aide de chevilles scellées à celle-ci. La seconde couche est collée et clouée sur la première à l'aide de chevilles en bois dur enfoncées obliquement et à fleur dans l'isolant une couche d'écran pare-vapeur est appliquée sur l'isolant. Le revêtement intérieur peut être réalisé par une couche d'enduit de ciment grillagé.

### 2.1.3 Le plafond

L'isolant est posé de la même façon que pour les parois verticales, sauf que la seconde couche ne peut pas être chevillée sur la première. Il est donc indispensable de la serrer à l'aide de chevilles plus longues et spécialement prévues à cet effet.

Le revêtement est constitué par un enduit en ciment, armé d'un grillage à grandes mailles.

Celui-ci est solidement maintenu par des barrettes de serrage sur la surface de l'isolant.[7]

## 2.2 L'isolation thermique et le transfert de chaleur :

L'isolation thermique est le moyen le plus efficace de maintenir une température idéale. D'un point de vue technique, l'isolation consiste à minimiser la transmission de l'énergie calorifique entre différents espaces adjacents. L'isolation permet de diminuer le coût des frigorifiques produites. [17]

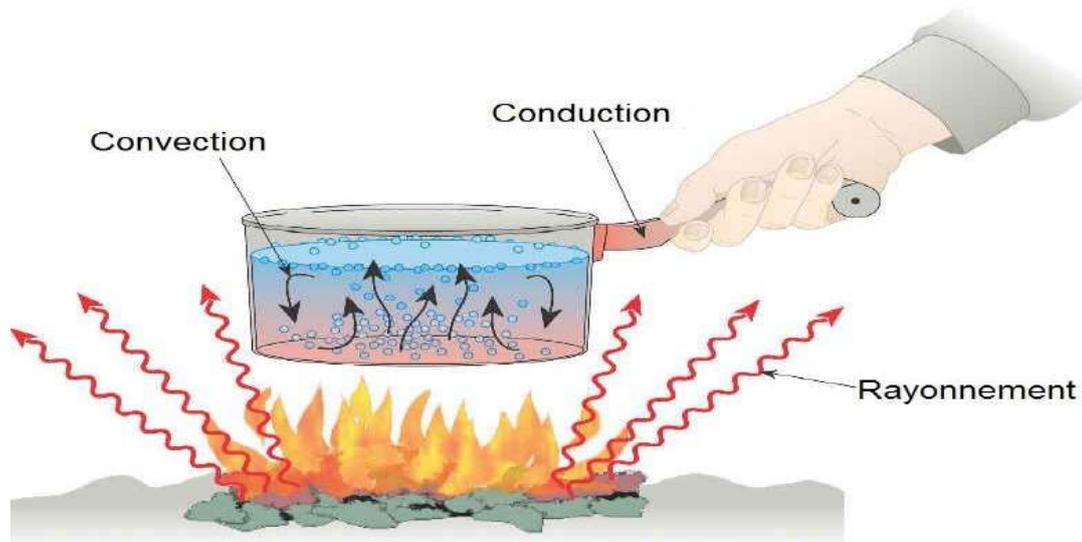
Le transfert de chaleur peut être défini comme la transmission de l'énergie d'une région à une autre sous l'influence d'une différence de température. Il est régi par une combinaison de lois physiques. La littérature traitant du transfert de chaleur reconnaît essentiellement trois modes de transmission de la chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement.

Il existe trois modes de transfert de chaleur :

- ✓ **Le transfert par conduction** : C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libre.
- ✓ **Le transfert par convection** : Les phénomènes de convection interviennent dans la transmission de la chaleur chaque fois qu'un fluide se déplace par rapport à des éléments fixes. Lorsque se produit au sein du fluide des courants dus simplement aux différences de densité résultant des gradients de température, on dit que la convection

est naturelle ou libre. Par contre, si le mouvement du fluide est provoqué par une pompe ou un ventilateur, le processus est appelé convection forcée.

- ✓ **Le transfert par rayonnement :** Dans la transmission de chaleur par rayonnement, le transfert thermique s'effectue par des vibrations électromagnétiques entre deux surfaces (même dans le Vide). Sans aucun contact entre eux, par le déplacement d'ondes dans l'espace qui se propagent en ligne droite sans aucun support de matière.[21]



Fig(14) : Les trois modes de transfert thermique

### 2.2.1 L'évolution de l'isolation thermique :

Les isolants thermiques sont des matériaux résistants au passage de l'énergie. Ils sont utilisés dans la construction des chambres froides pour créer une barrière qui empêche la transmission de l'énergie et qui maintient ainsi l'intérieur de la chambre à une température adaptée. D'un point de vue économique, elle constitue la meilleure solution pour économiser de l'énergie. Le choix du matériau à utiliser est donc essentiel lors de la construction d'une chambre froide. Par le passé, différents types de matériaux et de solutions ont été utilisés pour l'isolation thermique.

De plus, grâce à la recherche, « le secteur a évolué au cours des dernières décennies et de nouveaux systèmes et produits de plus en plus efficaces ont fait leur apparition » affirme Jaime Maruny. Dans un premier temps, les matériaux utilisés étaient du liège avec un pare-vapeur en bitume, le tout fixé à une structure de maçonnerie, lesquels étaient appliqués manuellement par les maçons, avec des finitions internes en ciment ou en céramique. Par la suite, le liège a été remplacé par des matériaux organiques dérivés du pétrole, principalement des plaques de

polystyrène expansé (PSE), mais celles-ci étaient toujours fixées au mur avec du bitume. La tôle nervurée était utilisée pour la finition intérieure. Avec le temps, de nouveaux produits et technologies modulaires ne nécessitant plus les murs de maçonnerie ont fait leur apparition. C'est le cas par exemple des panneaux sandwich utilisés de nos jours, qui offrent un haut niveau de résistance. [16]

### 2.2.2 Les isolants thermiques :

Les isolants limitent les échanges thermiques entre le milieu extérieur et le milieu intérieur. Une bonne isolation s'impose donc pour le container afin de réduire les apports thermiques. Une bonne isolation s'impose donc pour le container afin de réduire les apports thermiques.

Un bon isolant doit :

- ✚ Avoir une faible densité
- ✚ Avoir une très faible conductivité thermique.
- ✚ Avoir une bonne résistance à la diffusion de la vapeur.
- ✚ Etre non hygroscopique.
- ✚ Etre imputrescible.
- ✚ Etre résistant, et stable entre certaines limites de température.
- ✚ Etre ininflammable.
- ✚ Etre sans action sur le fer ou les matériaux en contact.
- ✚ Etre d'un prix raisonnable.

La performance de l'isolation augmente si l'isolant contient une certaine quantité d'air car l'air est le meilleur isolant s'il est sec et au repos. [16]

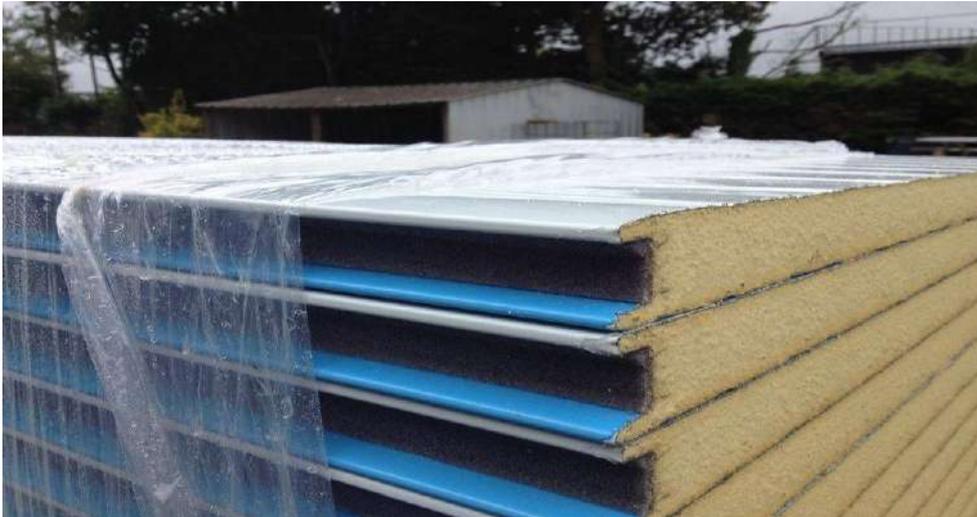
### 2.2.3 Les panneaux sandwich :

Dans la seconde moitié du XXe siècle, en raison de la demande croissante de chambres froides à l'échelle industrielle et grâce à l'évolution de la technologie, les panneaux sandwich ont été mis au point.

Jaime Maruny souligne que l'utilisation de ces panneaux représente un grand progrès dans le secteur de la construction et de l'isolation, car ce produit allie plusieurs avantages, parmi lesquels nous pouvons distinguer :

- **La modularité** : ces panneaux sont faciles à transporter et à assembler.

- **Ils offrent une âme à épaisseurs multiples et un revêtement en tôle métallique :**  
Leurs caractéristiques dépendent de l'utilisation des panneaux.
- **Excellentes propriétés mécaniques.**
- **Magnifique barrière de vapeur.**
- **Haute résistance au passage de la chaleur.**
- **Finitions hygiéniques et sanitaires :** Ils sont faciles à nettoyer et ils résistent aux attaques des micro-organismes.
- **Cout modéré**



Fig(15) : Panneaux sandwich [20]

Aujourd'hui, les chambres froides modernes sont équipées de panneaux sandwich constitués d'une âme isolante en polyuréthane (PUR) – bien que l'utilisation du polyisocyanurate (PIR) soit de plus en plus commune en raison de son niveau de résistance au feu – recouverte de deux plaques qui peuvent être ou non métalliques (généralement en acier ou en aluminium).

Le PUR et le PIR sont des mousses cellulaires rigides composées de deux liquides : le polyol et l'isocyanate, mélangés dans des proportions différentes avec un agent moussant et d'autres additifs. Lors de la formation de la mousse, celle-ci adhère aux deux plaques. Les densités de mousse du produit fini sont de l'ordre de 40 kg/m<sup>3</sup>.

Les plaques extérieures du panneau sont habituellement en tôles d'acier galvanisé, apprêté et enduit de peinture polyester de silicone (plus connue sous le nom de laque). Ces plaques ont une épaisseur minimum de 0,5 mm et maximum de 0,7 mm et elles ont une finition nervurée qui les rend plus résistantes et rigides. Sur le plan esthétique, elles sont embellies par une importante gamme de couleurs.

Dans les entrepôts devant faire face à des conditions extrêmes (entrepôts marins, industriels, etc.), ou lorsque des produits spéciaux sont traités ou élaborés (salaison d'aliments, non emballés, etc.), des revêtements plus résistants et anticorrosifs comme le HDX, le PVDF ou le PET sont habituellement appliqués. [17]

## 2.2.4 Comment choisir l'isolation d'une chambre froide :

Selon la littérature, l'isolation thermique est une technique ou un moyen matériel (un matériau ou combinaison de matériaux) de limiter les transferts de chaleur par conduction, convection et rayonnement entre l'extérieur et l'intérieur d'un logement. Il retarde le flux de chaleur à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment en raison de sa haute résistance thermique.

Deux possibilités s'offrent au concepteur et réalisateur pour isoler une paroi :

- L'isolation par l'intérieur Consiste à isoler un bâtiment de l'intérieur en apposant un isolant derrière une cloison maçonnée ou une ossature, procédé le plus utilisé par les constructeurs à cause de sa facilité de mise en œuvre. Son inconvénient est qu'il annule l'inertie thermique de la paroi isolée et n'évite pas les ponts thermiques sur la maçonnerie.
- L'isolation par l'extérieur Consiste à installer l'isolant sur la surface extérieure du mur. Ce souvent la solution la plus couteuse mais aussi la plus performante. Elle constitue la meilleure isolation pour le confort d'été et d'hiver car elle permet de conserver l'inertie thermique forte des murs intérieurs et supprime les ponts thermiques. [21]

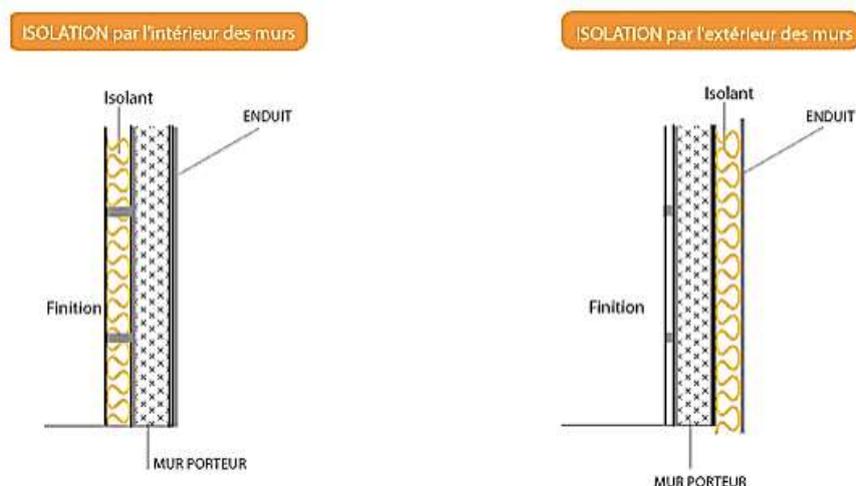


Fig (16) : Isolation par l'intérieur et l'extérieur. [21]



Fig (14) : Isolation du sol d'une chambre froide [19]

Dans le cas d'un mur, l'isolant est construit sur un support en liège. Quant au sol et au plafond, ils sont réalisés en polystyrène. Les chambres froides positives ne nécessitent qu'une épaisseur d'isolation. En revanche, pour les chambres froides à froid négatives, il faut au moins deux épaisseurs d'isolants.

Au fil du temps, de nombreux acteurs ont souhaité la construction d'une chambre froide à caractère environnemental, se préoccupant davantage de la consommation en énergie. Parmi les isolants les plus employés, on peut citer la paille. L'épaisseur de ce système de stockage est beaucoup plus importante que celle d'un système de stockage avec une isolation traditionnelle. Toutefois, ce type d'isolant a des inconvénients tels que sa non-résistance face à l'humidité.[19]

### 2.2.3 Les types d'isolants :

Isolant	Caractéristiques
<b>Le liège</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prix élevé</li> <li>- Bonne résistance mécanique et stable dans le temps</li> <li>- Masse volumique : 110 à 130 <math>kg/m^3</math></li> <li>- Conductivité thermique : 0.044 W/m .k</li> </ul>
<b>Le fibre de verre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bonne résistance à l'effritement.</li> <li>- Masses volumiques les plus utilisées en isolation frigorifique : 22 <math>kg/m^3</math> (Panneaux semi rigide PI 156), et 29 <math>kg/m^3</math> (panneaux rigides PSF)</li> <li>- Conductivité thermique: 0.035 w/m .k</li> </ul>
<b>Le polystère expansé</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prix moyen.</li> <li>- Résistance mécanique moyenne.</li> <li>- Stable dans le temps.</li> <li>- Isolation et pare-vapeur très bon mais inflammable et léger.</li> <li>- Masse volumique : 20 à 30 <math>kg/m^3</math>.</li> <li>- Conductivité thermique : 0.029 W/m .k</li> </ul>
<b>La mousse de polyuréthane</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Masse volumique: 30 à 40 <math>kg/m^3</math></li> <li>- Conductivité thermique : 0. 027</li> <li>- Prix moyen.</li> <li>- Résistance mécanique moyenne</li> <li>- Stable dans le temps</li> </ul>
<b>Caoutchouc mousse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Masse volumique: 90 <math>kg/m^3</math> (tube) et 113 <math>kg/m^3</math> (plaque)</li> <li>- Conductivité thermique : 0.03 W/m k</li> </ul>
<b>La laine de verre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible cout et longue durée de vie.</li> <li>- Incombustible et résistante au feu.</li> <li>- Conductivité thermique: 0.035 W/m k</li> </ul>

Tableau (13) : les types d'isolants et leurs caractéristiques [14]

### 3.2.2.2 Isolants bio-sources :

- **Ouate de cellulose** : fabriquée à partir de papiers recyclés et/ou de chutes de papiers neufs d'imprimerie, une conductivité thermique à l'état sec qui varie de 0.035 à 0.041  $W/mK$
- **Fibres de bois denses ( $140 \text{ Kg/m}^3$ )** : utilisables telles quelles ou agglomérées en panneaux plus ou moins denses, la masse volumique, de l'orientation et du diamètre des fibres: 0.036 à 0.049  $\text{Kg/m}^3$  et de Conductivité thermique 0.036 à 0.047  $W/mK$
- **Béton de chanvre** : mélange de liant (ciment, chaux...) et de chanvre, masse volumique 250  $\text{Kg/m}^3$ , conductivité thermique 0.06  $W/mK$
- **Botte de paille** : la paille est un excellent isolant thermique. Avec une conductivité thermique de 0.052  $W/mK$  [14]

### 3.2.4 Control d'isolation thermique des parois de la chambre :

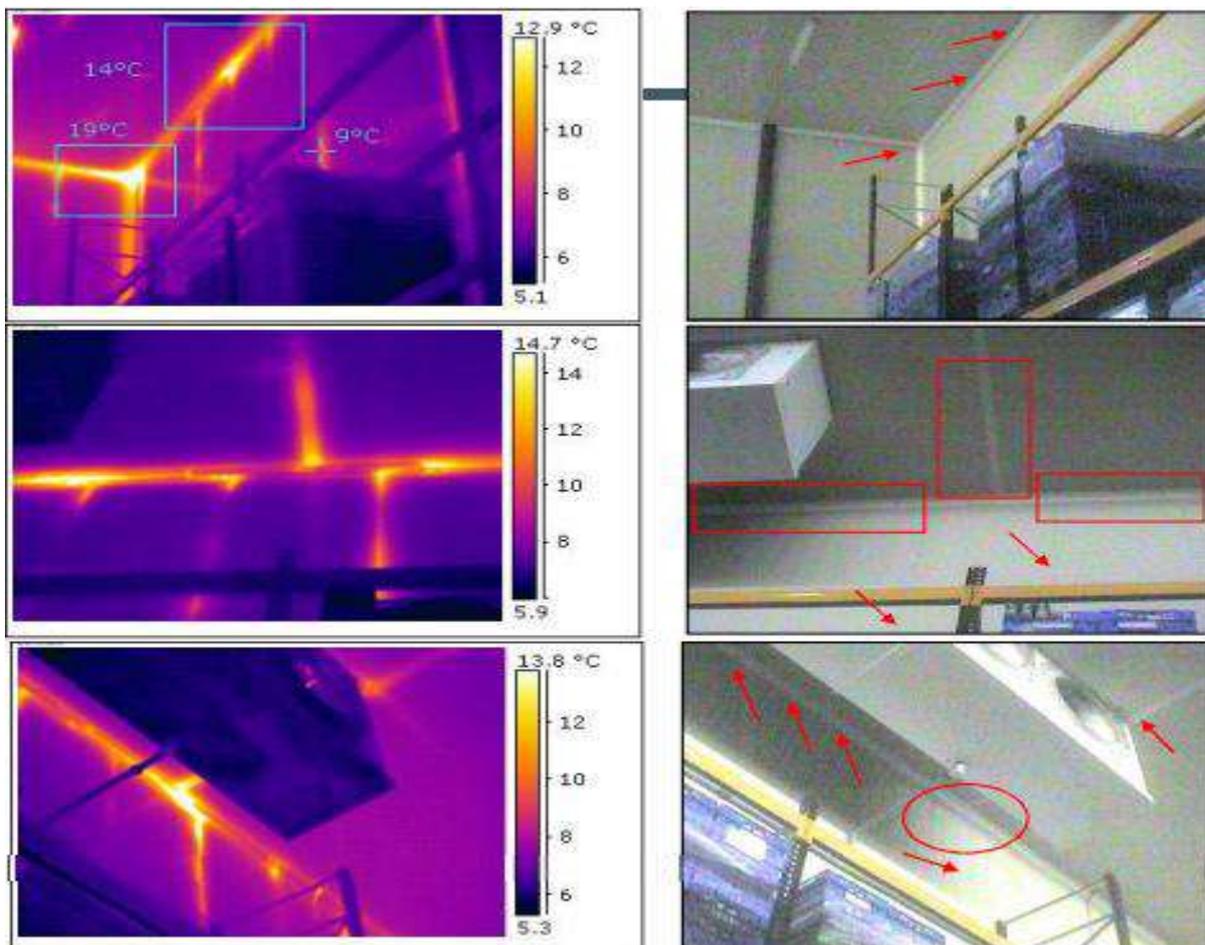


Fig (14) : Contrôle d'isolation thermique. [22]

### **Isolation et inertie :**

L'isolation thermique est le moyen le plus efficace de maintenir une température idéale. D'un point de vue technique, l'isolation consiste à minimiser la transmission de l'énergie calorifique entre différents espaces adjacents. Nous avons rencontré Jaime Maruny, administrateur du groupe Infrisa, l'une des entreprises les plus compétentes dans la conception et la construction de chambres froides en Espagne. Cette société est en étroite collaboration avec Mecalux dans la réalisation de nombreux projets.[17]

L'inertie thermique d'un corps est la capacité d'un matériau à emmagasiner de la chaleur (ou du froid) pour le restituer ensuite progressivement. Plus un matériau est lourd et compact, plus il a une inertie thermique importante. Ainsi, une maison à ossature bois, si l'on y intègre pas des matériaux lourds, aura une inertie thermique très faible, ce qui peut vite devenir inconfortable et peu économe en énergie. [18]

- **L'isolation intégrée :** Cette technique intègre directement l'isolation dans les murs. En outre elle permet de gagner du temps, de réduire les ponts thermiques et de faciliter la mise en œuvre.

### **Conclusion :**

L'utilisation de l'isolation thermique a plusieurs avantages (économique, environnementale ...etc.).

Il existe différents types des matériaux d'isolation thermique (biosourcés, minéraux et synthétiques). L'installation des matériaux isolants dans l'enveloppe de la chambre froide assure une bonne isolation thermique par la réduction des déperditions thermique entre la chambre et le milieu extérieur.

L'étude bibliographique montre que l'isolation thermique a un effet important sur la performance thermique de l'enveloppe de la chambre froide et sur la réduction de la consommation énergétique.

# **CHAPITRE III :**

## **Bilan thermique**

## Introduction

Le bilan thermique d'une chambre froide, nous permet de déterminer la puissance frigorifique de la machine. La puissance frigorifique d'une installation représente la quantité de froid nécessaire, d'une part, à la congélation ou le refroidissement des denrées, d'autre part pour compenser les apports thermiques extérieurs. [4]

### 3.2 Bilan thermique :

Le bilan thermique représente le calcul des charges thermiques en climatisation. Pour celui des chambres froides, on peut admettre que l'effet de variation diurne et nocturne, de la température extérieure et celui de l'ensoleillement soient négligés, car le chargement moyen des chambres constitue un volant thermique suffisant pour lisser ces variations et simplifier les calculs (cela ne veut pas dire cependant que les calculs ne doivent pas être conduits avec rigueur et précision). [4]

#### 3.3.1 Les charges thermiques :

Les charges se répartissent en deux grandes catégories : les charges externes et internes, elles-mêmes subdivisées en sous catégories.

##### 3.3.1.1 Les charges thermiques externes :

###### 3.3.1.1.1 Charges thermique par transmission à travers les parois :

La charge thermique par transmission à travers les parois est calculée à l'aide de la relation suivante (les portes isothermes sont calculées avec le même flux thermique que les parois)

$$Q_{tr} = K \times A_m \times \Delta T \text{ en (Kw)}$$

Avec :

- **K** : Coefficient de transfert thermique de la paroi en  $W/m^2 \cdot K$
- **$A_m$**  : Surface moyenne des parois en  $m^2$
- **$\Delta T$**  : La différence de température entre les deux côtés de la paroi en K

Le coefficient de transfert thermique se donne par la relation :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^n \frac{e_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_e}}$$

Avec :

- $\frac{1}{h_i}$  : Résistance thermique superficielle interne en  $m^2K/W$
- $\frac{1}{h_e}$  : Résistance thermique superficielle externe en  $m^2K/W$
- $\sum_{j=1}^n \frac{e_j}{\lambda_j}$  : Somme des résistances thermiques des différentes couches constituant la paroi en  $m^2K/W$ .

### 3.3.1.1.2 Charges thermiques par renouvellement d'air :

En fonction des produits entreposés il est parfois nécessaire de renouveler l'air des chambres froides, c'est-à-dire, de remplacer une partie de l'air de la chambre froide par de l'air extérieur dont la température est supérieure à celle de la chambre froide pour certaines périodes de l'année. La quantité d'air neuf admise doit être refroidie à la température de la chambre froide, donc c'est une charge thermique. Cette charge thermique par renouvellement de l'air a pour valeur :  $Q_{re} = m_a \times \Delta h$  en (Kj)

Avec :

- $m_a$  : Masse d'air extérieur admise en kg ;
- $\Delta h$  : Différence d'enthalpie entre l'air extérieur et l'air ambiant de la chambre en  $kJ/kg$ .

Tel que  $\Delta h = h_e - h_a$  qui représentent les enthalpies de l'air extérieur et ambiant de la chambre en  $kJ/kg$ .

### 3.3.1.1.3 Charges thermiques par ouverture des portes :

Lorsqu'une porte, qui sépare une chambre froide de l'espace extérieur s'ouvre, l'air intérieur I, plus froid que l'air extérieur, s'écoule au dehors par la partie basse de la porte (figure 15). Il est remplacé par de l'air extérieur E plus chaud, moins humide, qui pénètre dans la chambre par la partie haute de la porte.

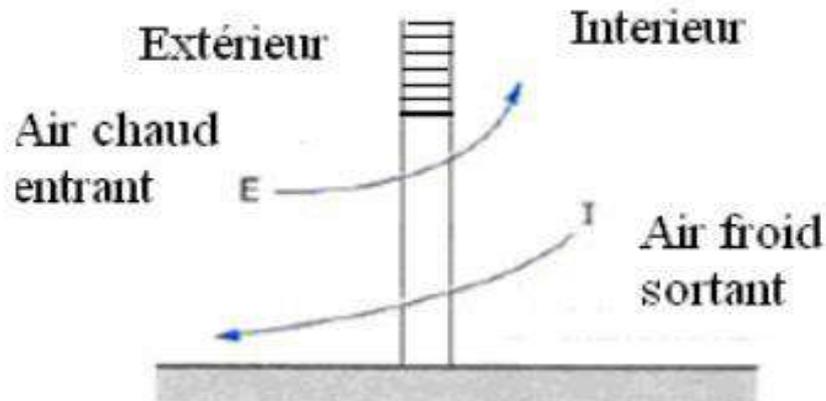


Fig (15) : Échanges thermiques provoqués par l'ouverture des portes.

Dans le cas où la chambre froide comporte plusieurs portes; on suppose presque toujours qu'il n'y a que très rarement ouverture simultanée de plusieurs portes, et c'est pourquoi le calcul n'est effectué que pour une seule porte.

La charge thermique par ouverture des portes est donnée par la formule

$$\text{suivante : } Q_{op} = K \cdot \rho_a \cdot \tau \cdot A \cdot \sqrt{h_p \cdot \left(1 - \frac{\rho_e}{\rho_a}\right)} \cdot (h_e - h_i) \quad \text{en (Kj)}$$

Avec :

- **K** : Facteur de correction égal à  $[0,48 + 0,004 \times (T_e - T_a)]$  ;
- $\rho_a$  : Masse volumique de l'air ambiant dans la chambre froide en  $\text{kg/m}^3$  ;
- $\rho_e$  : Masse volumique de l'air extérieur en  $\text{kg/m}^3$  ;
- **A** : Surface de la porte  $\text{m}^2$  ;
- $h_p$  : Hauteur d'une porte en m ;
- $h_e$  : Enthalpie de l'air du côté de la porte opposé à celui la chambre froide en  $\text{Kj/Kg}$  ;
- $h_i$  : Enthalpie de l'air ambiant dans la chambre froide en  $\text{Kj/Kg}$

### 3.3.1.2 Calcul des charges thermiques internes :

#### 3.3.1.2.1 Charges thermiques internes dépendantes des denrées entreposées :

- **Charge thermique due aux denrées entrantes :**

Cette charge résulte de ce que les produits introduits dans la chambre froide se trouvent presque toujours à une température supérieure à la température de la chambre froide et qu'ils dégagent donc une certaine quantité de chaleur aussi longtemps que leur température n'aura pas encore atteint la température d'entreposage. Lorsque les denrées introduites sont entreposées dans une chambre froide assurant seulement la réfrigération des produits et non leur congélation, [4] la charge due aux produits entrants se calcule par la formule suivante :

$$Q_{de} = m \times c \times (T_1 - T_2) / 3600 \text{ en } Kj$$

Avec :

- $m$  : Masse de denrées introduite chaque jour en kg;
- $c$  : Capacité thermique massique moyenne de la denrée en  $Kj/Kg.K$ ;
- $T_1$  : Température initiale de la denrée introduite en K;
- $T_2$  : Température d'entreposage des denrées introduites en K.

- **Charge thermique due à la respiration des denrées :**

Dans le cas où les denrées entreposées sont vivantes (fruits, légumes, etc.) ou si elles sont le support d'êtres vivants (milieux en fermentation, fromage, etc.), on doit tenir compte d'un apport thermique lié au métabolisme de ces milieux vivants (chaleur de respiration, de fermentation, etc.). Cet apport thermique est proportionnel à la masse de denrées présentes dans la chambre froide, et il est donné par la relation :

$$Q_{rés} = M_{tot} \times q_{rés}$$

Avec :

- $q_{rés}$  : Chaleur de respiration de la marchandise considérée en  $Kj/Kg.h$  ;
- $M_{tot}$  : Masse totale de marchandises contenue dans la chambre froide en kg.

Tel  $M_{tot}$  que se calcule par la relation suivante :

$$M_{tot} = d \times A_{in} \times h_{st} \times \varphi$$

Ou :

- $d$  : Densité d'entreposage en  $kg/m^3$  ;
- $A_{in}$  : Surface interne de la chambre froide ;
- $h_{st}$  : Hauteur maximale de stockage ;
- $\varphi$  : Coefficient d'occupation au sol des marchandises.

Type d'entreposage	$\varphi$ en %
Entreposage de marchandises réfrigérées palettisées à faible rotation.	0,65 à 0,70
Entreposage de marchandises réfrigérées palettisées à rotation rapide.	0,45 à 0,50
Entreposage de marchandises congelées palettisées à faible rotation.	0,75 à 0,80
Entreposage de marchandises congelées palettisées à rotation rapide.	0,50 à 0,60

Tableau (14) : Coefficient d'occupation du sol d'une chambre froide en fonction du type d'entreposage des marchandises. [4]

### 3.3.1.2.2 Charges thermiques internes indépendantes des denrées entreposées :

- **Charges thermiques dues à l'éclairage :**

Dans les chambres froides classiques, les luminaires prévus doivent pouvoir résister au froid et à l'humidité, être étanches à l'eau, être protégés des contacts avec tous objets. Plus généralement, [4] la charge thermique due à l'éclairage se calcule d'après la formule suivante :

$$Q_{éc} = i \times P \times \tau \text{ en Watt}$$

Avec :

- $i$  : Nombre de luminaires ;
- $P$  : La puissance de chaque luminaire en (W) ;
- $\tau$  : Durée de fonctionnement des luminaires en seconde.

On peut calculer cette valeur en utilisant la relation suivante :

$$Q_{éc} = P \times A_{in} \times \tau$$

Ou :

- $P$  : Charge thermique projetée r sur la surface (les fabricants prévoient, en général, une puissance de  $6 \text{ W/m}^2$ );
- $A_{in}$ : Surface interne de la chambre ;
- $\tau$  : Durée de fonctionnement des luminaires en seconde.

➤ **Charges thermiques dues aux personnes :**

La charge thermique due aux personnes se calcule d'après la formule suivante :

$$Q_{pe} = i \times q_p \times t$$

Avec :

- $i$  : Nombre de personnes opérant dans la chambre froide;
- $q_p$  : Quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne en activité moyenne dans une chambre froide en (W) ;
- $t$  : Durée de présence de chaque personne dans la chambre froide en seconde.

➤ **Charges thermiques internes liées à l'évaporateur :**

On utilise généralement des évaporateurs équipés d'un ou de plusieurs ventilateurs, ce qui permet d'assurer un brassage et une circulation efficaces de l'air. Chaque ventilateur est entraîné par un moteur électrique qui dégage de la chaleur. [4]

La charge due aux moteurs des ventilateurs est alors donnée par la relation :

$$Q_{ven} = n \times P \times \tau_{evap}$$

Avec :

- **n** : nombre de moteurs de ventilateurs;
- **P** : puissance du moteur considéré en kW;
- **$\tau_{evap}$**  : durée de fonctionnement des ventilateurs en h/d.

➤ **Charges thermiques due aux résistances de dégivrage :**

Le plus souvent, le dégivrage d'un évaporateur se fait par des résistances électriques. La charge due aux résistances électriques est alors donnée par :

$$Q_{dégi} = n \times P \times \tau_{dégi}$$

Avec :

- **n** : nombre de résistances électriques;
- **P** : puissance calorifique de chaque résistance d'un type donnée en kW;
- **$\tau_{dégi}$**  : durée journalière de dégivrage en h/d, (voir tableau 13). [4]

Type de chambre froide ou de meuble frigorifique		Nombre et durée des périodes de dégivrage en mn/d
Groupe 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Chambre froide de produits congelés.</li> <li>* Chambre froide sans chauffage Meuble îlot</li> <li>* Armoire frigorifique</li> <li>* Présentoir frigorifique à viande en air recyclé sans chauffage</li> <li>* Présentoir frigorifique à pâtisserie à ventilation naturelle</li> </ul>	2×60 mn/d
Groupe 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Resserre à viande Séchoir à saucissons</li> <li>* Chambre de saumurage</li> <li>* Chambre de maturation (fromage)</li> </ul>	4×20 mn/d
Groupe 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Chambre froide à produits laitiers</li> <li>* Chambre froide à fruits et légumes</li> </ul>	3×20 mn/d

Tableau (15) : Nombre et durée des périodes de dégivrage à prévoir pour différentes chambres froides et meubles frigorifiques. [4]

Ce calcul nécessite donc de connaître le nombre et le type d'évaporateurs prévus. Or ces indications ne seront normalement connues qu'une fois le bilan frigorifique établi. C'est pourquoi l'on procède dans un premier temps à la détermination provisoire du nombre et du type d'évaporateurs à prévoir.

### 3.4 Sélection de l'équipement :

#### 3.4.1 Sélection de l'évaporateur :

Pour la sélection de l'évaporateur, on doit fixer, à priori, la température d'évaporation, le fluide frigorigène utilisé, et la température d'entrée de l'air. Selon qu'il s'agit de refroidir de l'air, du liquide ou du solide, dénommés généralement sources froides, le niveau de température à réaliser  $T_f$  détermine le niveau de la température d'évaporation  $T_o$  à partir du moment où l'on choisit l'écart minimal.

#### 3.4.2 Sélection du groupe de condensation :

Il existe une relation étroite entre la détermination d'un évaporateur, dont les principaux paramètres sont la puissance frigorifique, la température ambiante de la chambre, la température d'évaporation ainsi que l'écart de température et la détermination d'un compresseur. On effectue, on doit sélectionner un compresseur pour la même puissance frigorifique et de même température d'évaporation que l'évaporateur. De façon à réaliser un équilibre entre les puissances de l'évaporateur et du compresseur.

#### 3.4.3 Sélection du détendeur :

Un détendeur thermostatique a pour fonction de contrôler l'alimentation de l'évaporateur en fluide frigorigène, de façon à ce que les vapeurs à la sortie soient surchauffées.

Le choix du détendeur s'effectue à partir de sa puissance nominale désignée par le constructeur, pour une température d'évaporation, et une certaine chute de pression entre l'amont et l'aval du détendeur. C'est ainsi que la puissance nominale d'un détendeur, pour une puissance frigorifique nécessaire  $\dot{Q}_0$ , est calculée à l'aide de la relation suivante :

$$\dot{Q}_n = \frac{\dot{Q}_0}{\Delta t_u} \text{ en KW}$$

Ou :

$\Delta t_u$  : Le facteur du sous refroidissement.

Nous devons déterminer la température de condensation ainsi que le sous refroidissement du liquide, la pression de condensation et d'évaporation du fluide frigorigène.

### 3.5 Le rendement :

Le rendement ou l'efficacité d'une machine thermique est définie comme le rapport de l'énergie utile (travail fourni par le système) sur l'énergie consommée

$$\eta = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie consommée}}$$

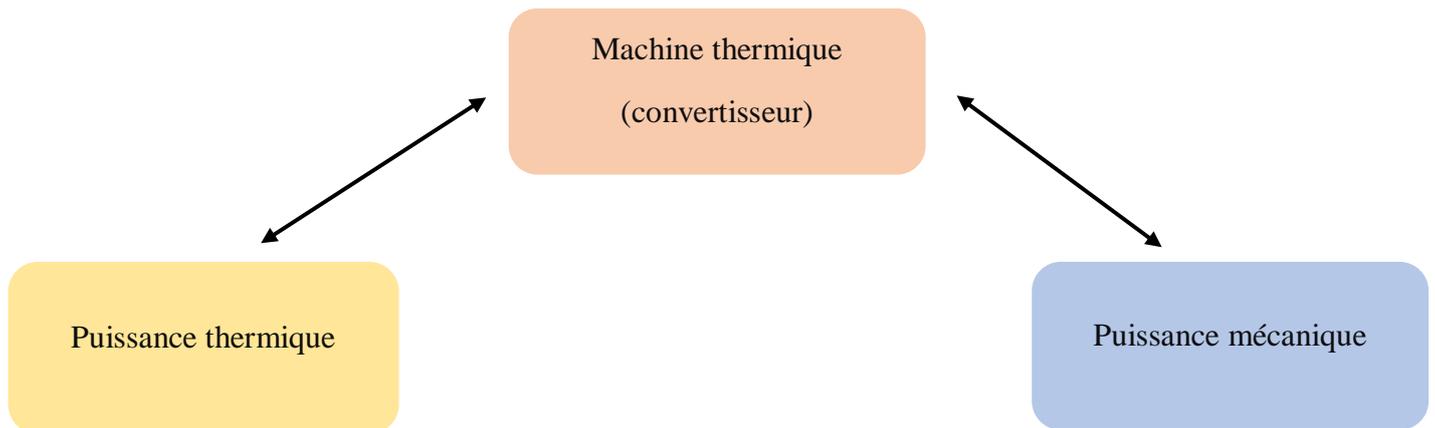


Figure (16) : Les puissances autour d'une machine thermique.[26]

Les machines thermiques sont des dispositifs qui permettent de transformer une énergie sous forme de chaleur en une énergie sous forme de travail et réciproquement.

Les réfrigérateurs transforment le travail en chaleur. [26]

### Conclusion :

Le calcul du bilan frigorifique d'une chambre froide, est très important car le dimensionnement de la machine frigorifique, ou le choix des équipements de celle-ci se fait sur la base des besoins en froid trouvés lors de ce calcul. [7]

**CHAPITRE IV :**  
**Résultats et**  
**discussions**

## Introduction

Dans ce chapitre, Nous allons présenter les résultats numériques de certains fluides réfrigérants a été faite sous le logiciel SOLKANE 8.0 développé par l'entreprise allemande Solvay fluor GmbH Hanover.

Les fluides réfrigérants étudiés sont : R32, R134a, R404A.

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

### 1. Description du logiciel SOLKANE :

Le logiciel SOLKANE calcule les paramètres thermodynamiques et les propriétés de transport des fluides frigorigènes

- contient des modules pour le calcul d'un total de 7 procédés cycliques différents à une ou deux étapes et pour le dimensionnement des conduites des fluides frigorigènes
- affiche les diagrammes p-h ou T-s des fluides frigorigènes
- assure, dans une fenêtre d'aide de Windows, une information complète sur les fluides frigorigènes SOLKANE depuis les propriétés physiques jusqu'au transport et à la garniture. [23]

### 2. Les fluides frigorigènes SOLKANE :

Les fluides réfrigérants pouvant être étudiés ou analysés à l'aide du logiciel SOLKANE sont les suivants :

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

**Fig(20) :** Liste des fluides frigorigènes SOLKANE

### 3. Choix du fluide frigorigère :

Pour le calcul des propriétés d'une substance et des procédés cycliques de nombreux fluides frigorigères de la gamme de produits SOLKANE. Il existe plusieurs méthodes pour choisir le fluide frigorigère dont on a besoin.

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

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

The screenshot shows the SOLKANE software interface for R134a. The main window displays the following data:

- Evaporateur:** Température: -10,00 °C, Surchauffe: 7,00 K, Perte de charge: 0,00 bar, Puissance frigorifique: 1,000 kW
- Liquéfacteur:** Température: 35,00 °C, Sous-refroidissement: 0,00 K, Perte de charge: 0,00 bar
- Compresseur:** Rendement isentropique: 0,800, Auto
- Conduite d'aspiration de gaz:** Surchauffe: 0,00 K, Perte de charge: 0,00 bar
- Conduite de refoulement de gaz:** Refroidissement: 0,00 K, Perte de charge: 0,00 bar

Properties displayed at the top right:

- $t_c$ : 101,06 °C
- $p_c$ : 40,59 bar
- $v_c$ : 1,954 dm³/kg

The interface also includes a table for cycle parameters and a schematic diagram of a refrigeration cycle with points 1 through 6.

Point	p	t	v	h	s	x
	bar	°C	dm³/kg	kJ/kg	kJ/kgK	--

**Fig(21) :** Les caractéristique thermos physiques du fluide choisit. [25]

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

SOLKANE® 22

R23

R123

SOLKANE® 134a

SOLKANE® 227

SOLKANE® 404A

SOLKANE® 407A

SOLKANE® 407C

SOLKANE® 410A

SOLKANE® 507

R32

R125

R143a

R152a

R124

SOLKANE® 365mfc

Solkatherm® SES36

SOLKANE® 22L

SOLKANE® 22M

**Méthode 3 :**

On sélectionne le fluide frigorigène dont on a besoin à partir de la liste de fenêtres dans le menu 'fenêtre, pour cela une fenêtre doit déjà être ouverte. [23]

**Méthode 4 :**

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

**4. Les Fluides frigorigènes :**

Selon les normes de protection d'environnement GWP (global warming potential) et ODP (Ozone depletion potential), On résume sur le tableau 1, les fluides interdits à la production et à l'utilisation.

Fréons	R22	R32	R134a	R404A	R407A	R410A	R11	R12
GWP	1500	650	1300	3260	1770	2100	4750	10890
ODP	0.005	0	0	0	0	0	1	1

**Tab(16) :** ODP et GWP Des fluides frigorifiques. [23]

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

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

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

Point singulier		Calcule les points d'état singuliers. Les points calculés dépendent des options complémentaires : vapeur humide 'ou 'surchauffée', données de 'pression' ou 'température. Introduites.
Table		Calcule les propriétés thermodynamiques spécifiées ou elles sont présentées sous forme de table.
Vapeur humide		Permet d'entrer paramètres de la substance en état saturé' (liquide à ébullition et vapeur saturée) pour calculer les points singuliers ou propriétés thermodynamiques.
Surchauffe		Permet d'entrer paramètres de la vapeur surchauffée' (état gazeux) pour calculer le point singulier ou les propriétés thermodynamiques.
Cycle		Permet d'Ouvrir une fenêtre pour le calcul des procédés cycliques.
Propriétés		Permet d 'Ouvrir la boîte de dialogue pour choisir les paramètres de calcul pour un point singulier ou propriété thermodynamique.
Sous-refroidi		Entrer les 'paramètres du liquide sous-refroidi'" pour calculer les points singuliers ou propriétés thermodynamiques.

Pour le fluide frigorigène choisi, deux types de diagrammes (P, H et T, S) sont disponibles en activant le bouton  situé au niveau du Menu ('option /diagramme log h). [23]

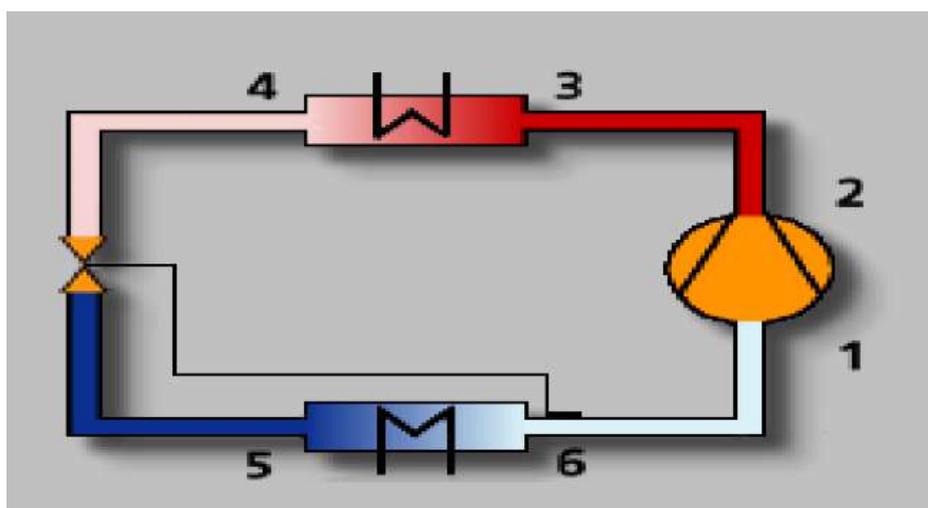
## 6. études d'impact des différents fluides réfrigérants :

Depuis 1987, le protocole de Montréal impose une nouvelle réglementation en termes d'utilisation des fluides frigorigènes. Pour l'application de ce protocole dans de bonnes conditions techniques et économiques, il est indispensable de connaître et d'évaluer l'impact de ces fluides réfrigérants. [23]

Pour cela, on se propose d'évaluer l'impact de 3 réfrigérants dans les mêmes conditions de fonctionnement d'une machine frigorifique ayant les caractéristiques suivantes :

- Puissance frigorifique utile nécessaire :  $P_{\text{frigorifique}} = (100, 200, 300) \text{ kW}$
- Température de condensation =  $35^{\circ}\text{C}$
- Température d'évaporation ou d'ébullition  $-10^{\circ}\text{C}$
- Sous-refroidissement =  $6^{\circ}\text{C}$
- Surchauffe =  $8^{\circ}\text{C}$
- Rendement du compresseur = 0,80
- Rendement du moteur électrique = 0,80

On suppose que les pertes de charge et les pertes thermiques sont négligeables au niveau des conduites.



Fig(22) : Cycle d'une chambre froide simple. [23]

## 7. circuit frigorifique simple :

A partir des caractéristiques ci-dessus, on obtient le cycle de la figure 3 pour les réfrigérants (R134a, R32, R404A) :

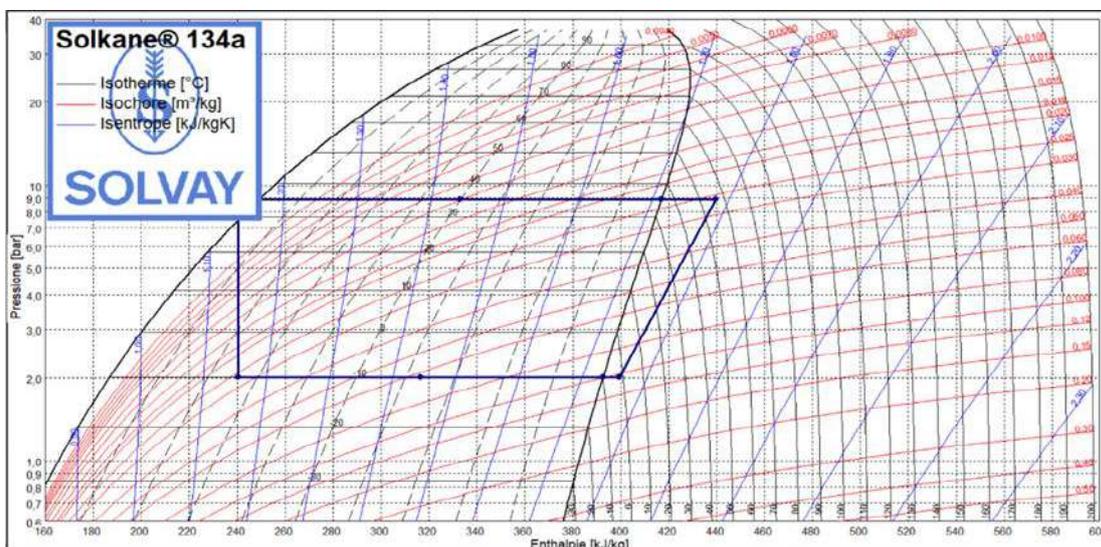
**7.1. Pour la puissance frigorifique : P frigorifique = 100 kW**

**7.1.1. Avec R134a :**

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	100 kW	Rapport de compression	4,42
Liquéfacteur	125 kW	Différence de pression	6,86 bar
Compresseur	25,3 kW	Débit massique	629,2 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	234,3 m <sup>3</sup> /h
		Capacité volumétrique	1536 kJ/m <sup>3</sup>
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,95
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

	p	t	v	h	s	x
Point	bar	°C	dm <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kgK	--
1	2,01	-2,00	103,44	399,33	1,7583	
2s	8,87	48,65	25,05	431,53	1,7583	
2	8,87	56,40	26,11	439,58	1,7831	
3	8,87	56,40	26,11	439,58	1,7831	
3'	8,87	35,00	23,04	417,07	1,7124	
3"4'm	8,87	35,00	11,95	333,08	1,4394	
4'	8,87	35,00	0,86	249,08	1,1663	
4	8,87	29,00	0,84	240,39	1,1383	
5	2,01	-10,00	26,54	240,39	1,1548	0,261
56"m	2,01	-10,00	63,04	316,49	1,4440	
6"	2,01	-10,00	99,54	392,58	1,7331	
6	2,01	-2,00	103,44	399,33	1,7583	

**Fig(23) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R134a. [25]**

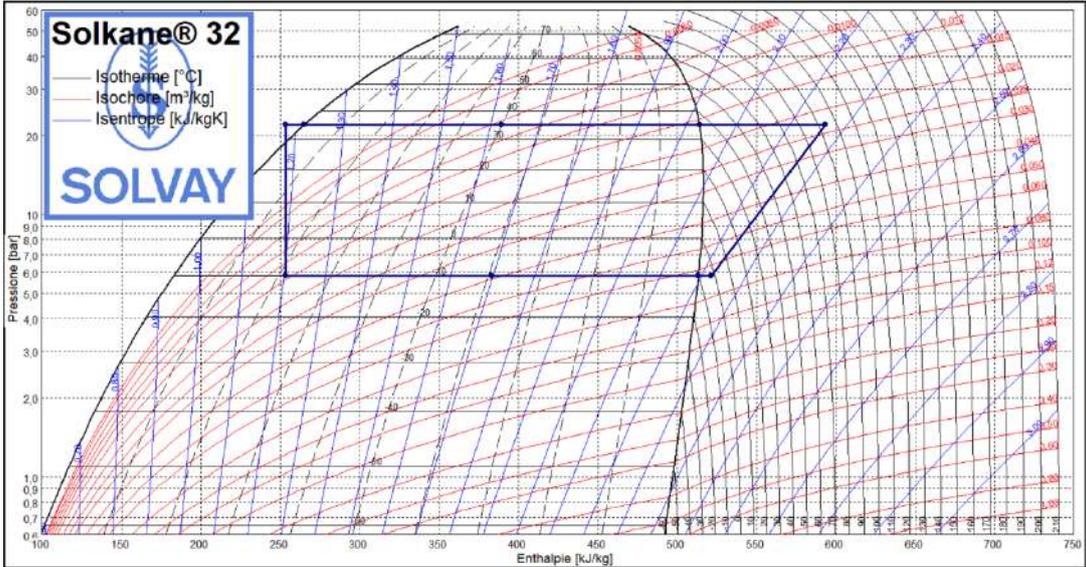


**Fig(24) :** Diagramme P-H du cycle simple R134a. [25]**7.1.2. Avec R32 :**

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	100 kW	Rapport de compression	3,76
Liquéfacteur	127 kW	Différence de pression	16,07 bar
Compresseur	26,7 kW	Débit massique	372,5 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	88,72 m <sup>3</sup> /h
		Capacité volumétrique	4058 kJ/m <sup>3</sup>
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,74
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

	<b>p</b>	<b>t</b>	<b>v</b>	<b>h</b>	<b>s</b>	<b>x</b>
Point	bar	°C	dm <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kgK	--
1	5,83	-2,00	66,16	521,65	2,2235	
2s	21,90	81,87	21,94	579,00	2,2235	
2	21,90	93,90	23,21	593,34	2,2632	
3	21,90	93,90	23,21	593,34	2,2632	
3'	21,90	35,00	15,80	513,93	2,0261	
3"4"m	21,90	35,00	8,44	389,50	1,6223	
4'	21,90	35,00	1,09	265,07	1,2185	
4	21,90	29,00	1,06	253,22	1,1808	
5	5,83	-10,00	14,16	253,22	1,2039	0,213
56"m	5,83	-10,00	38,63	383,26	1,6981	
6"	5,83	-10,00	63,09	513,31	2,1923	
6	5,83	-2,00	66,16	521,65	2,2235	

**Fig(25) :** Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R32. [25]



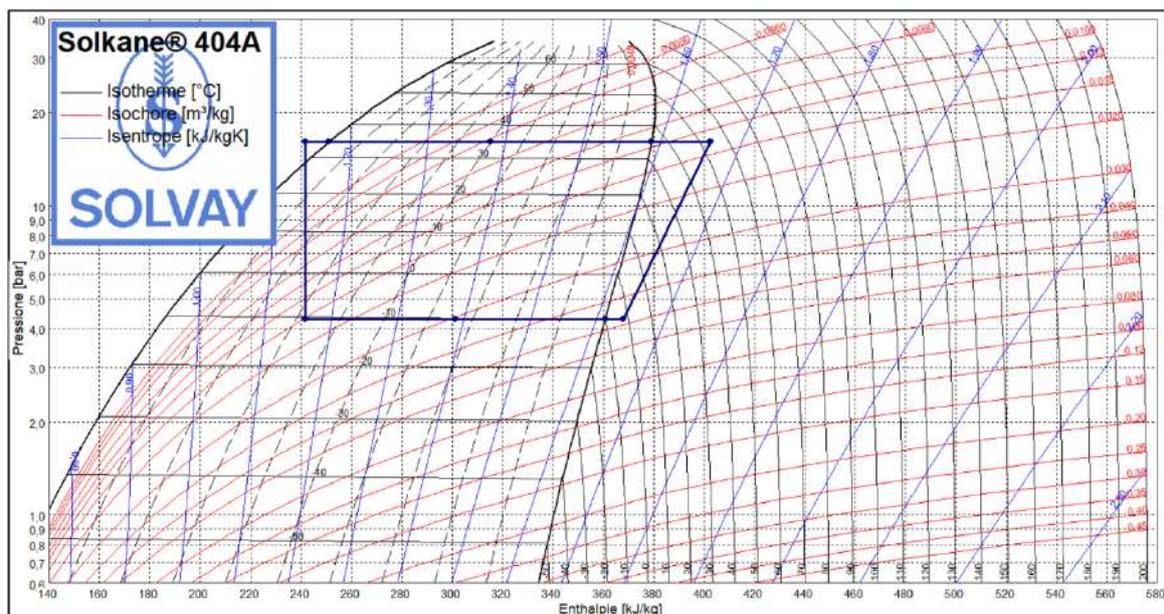
Fig(26) : Diagramme P-H DU cycle simple R32. [25]

7.1.3. Avec R404A :

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	100 kW	Rapport de compression	3,73
Liquéfacteur	127 kW	Différence de pression	11,74 bar
Compresseur	27,2 kW	Débit massique	791,5 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	136,2 m <sup>3</sup> /h
		Capacité volumétrique	2643 kJ/m <sup>3</sup>
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,68
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

	p	t	v	h	s	x
Point	bar	°C	dm <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kgK	--
1	4,31	-2,00	47,81	368,10	1,6405	
2s	16,05	47,83	12,89	395,55	1,6405	
2	16,05	53,56	13,46	402,41	1,6617	
3	16,05	53,56	13,46	402,41	1,6617	
3'	16,05	35,00	11,43	379,22	1,5886	
3*4'm	16,05	34,82	6,22	315,14	1,3803	
4'	16,05	34,64	1,01	251,05	1,1720	
4	16,05	28,64	0,97	241,75	1,1414	
5	4,31	-10,38	15,22	241,75	1,1607	0,321
5*6'm	4,31	-10,19	30,43	301,22	1,3867	
6"	4,31	-10,00	45,65	360,69	1,6127	
6	4,31	-2,00	47,81	368,10	1,6405	

Fig(27) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R404A. [25]



Fig(28) : Diagramme P-H du cycle simple R404A. [25]

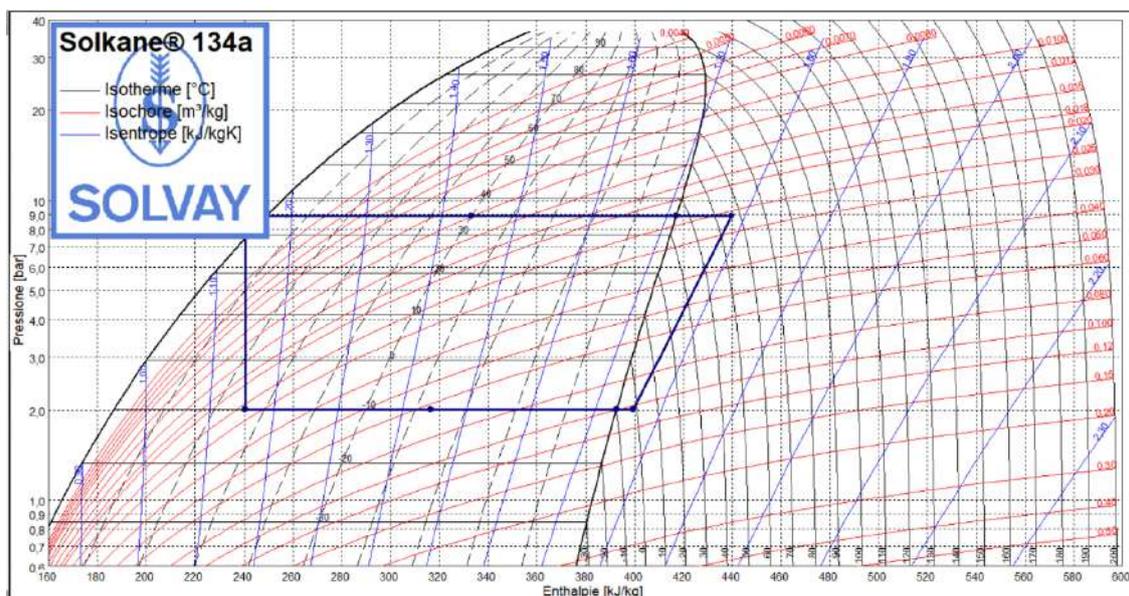
**7.2. Pour la puissance frigorifique : P frigorifique = 200 kW**

**7.2.1. Avec R134a :**

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	200 kW	Rapport de compression	4,42
Liquéfacteur	251 kW	Différence de pression	6,86 bar
Compresseur	50,7 kW	Débit massique	1258,4 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	468,6 m³/h
		Capacité volumétrique	1536 kJ/m³
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,95
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

	p	t	v	h	s	x
Point	bar	°C	dm³/kg	kJ/kg	kJ/kgK	--
1	2,01	-2,00	103,44	399,33	1,7583	
2s	8,87	48,65	25,05	431,53	1,7583	
2	8,87	56,40	26,11	439,58	1,7831	
3	8,87	56,40	26,11	439,58	1,7831	
3'	8,87	35,00	23,04	417,07	1,7124	
3"4'm	8,87	35,00	11,95	333,08	1,4394	
4'	8,87	35,00	0,86	249,08	1,1663	
4	8,87	29,00	0,84	240,39	1,1383	
5	2,01	-10,00	26,54	240,39	1,1548	0,261
56"m	2,01	-10,00	63,04	316,49	1,4440	
6"	2,01	-10,00	99,54	392,58	1,7331	
6	2,01	-2,00	103,44	399,33	1,7583	

**Fig(29) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R134a. [25]**



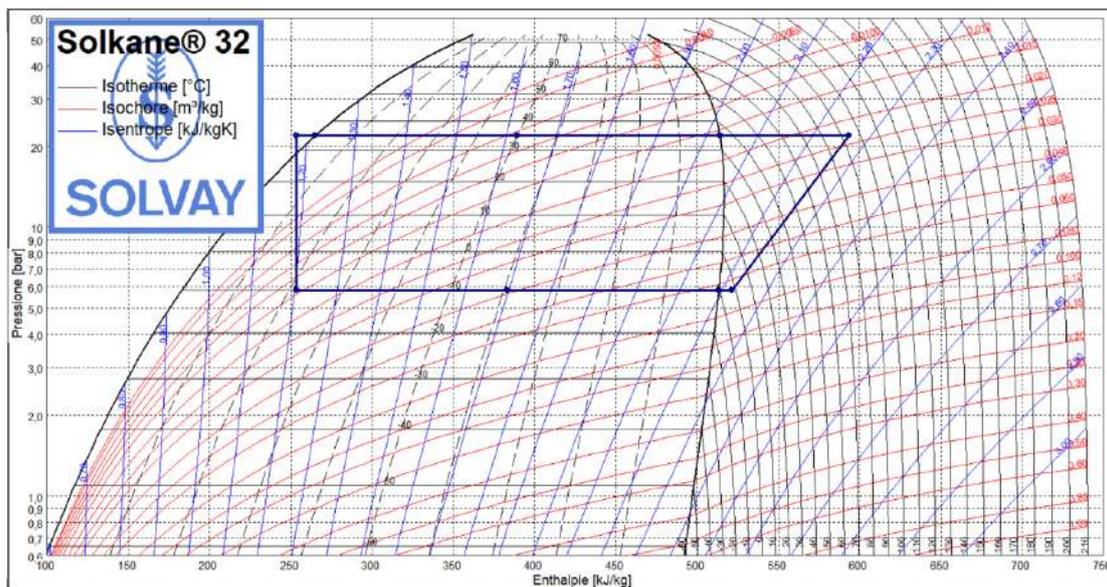
**Fig(30) : Diagramme P-H du cycle simple R134a. [25]**

7.2.2. Avec R32 :

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	200 kW	Rapport de compression	3,76
Liquéfacteur	253 kW	Différence de pression	16,07 bar
Compresseur	53,4 kW	Débit massique	745,1 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	177,4 m <sup>3</sup> /h
		Capacité volumétrique	4058 kJ/m <sup>3</sup>
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,74
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

	p	t	v	h	s	x
Point	bar	°C	dm <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kgK	--
1	5,83	-2,00	66,16	521,65	2,2235	
2s	21,90	81,87	21,94	579,00	2,2235	
2	21,90	93,90	23,21	593,34	2,2632	
3	21,90	93,90	23,21	593,34	2,2632	
3'	21,90	35,00	15,80	513,93	2,0261	
3"4"m	21,90	35,00	8,44	389,50	1,6223	
4'	21,90	35,00	1,09	265,07	1,2185	
4	21,90	29,00	1,06	253,22	1,1808	
5	5,83	-10,00	14,16	253,22	1,2039	0,213
56"m	5,83	-10,00	38,63	383,26	1,6981	
6"	5,83	-10,00	63,09	513,31	2,1923	
6	5,83	-2,00	66,16	521,65	2,2235	

Fig(31) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R32. [25]



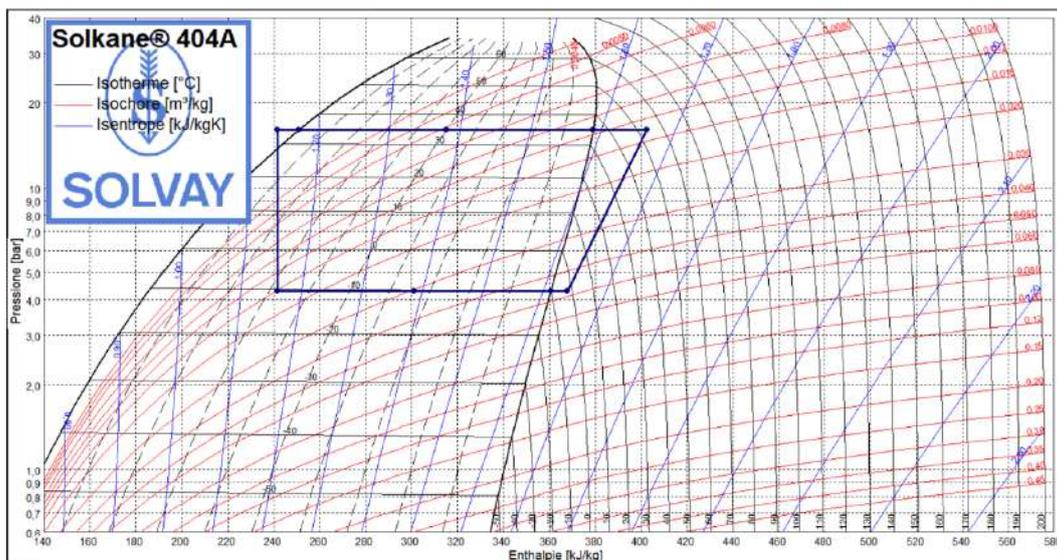
Fig(32): Diagramme P-H du cycle simple R32.[25]

7.2.3. Avec R404A :

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	200 kW	Rapport de compression	3,73
Liquéfacteur	254 kW	Différence de pression	11,74 bar
Compresseur	54,3 kW	Débit massique	1582,9 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	272,4 m³/h
		Capacité volumétrique	2643 kJ/m³
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,68
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

	p	t	v	h	s	x
Point	bar	°C	dm³/kg	kJ/kg	kJ/kgK	--
1	4,31	-2,00	47,81	368,10	1,6405	
2s	16,05	47,83	12,89	395,55	1,6405	
2	16,05	53,56	13,46	402,41	1,6617	
3	16,05	53,56	13,46	402,41	1,6617	
3'	16,05	35,00	11,43	379,22	1,5886	
3"4m	16,05	34,82	6,22	315,14	1,3803	
4'	16,05	34,64	1,01	251,05	1,1720	
4	16,05	28,64	0,97	241,75	1,1414	
5	4,31	-10,38	15,22	241,75	1,1607	0,321
56"m	4,31	-10,19	30,43	301,22	1,3867	
6"	4,31	-10,00	45,65	360,69	1,6127	
6	4,31	-2,00	47,81	368,10	1,6405	

Fig(33) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R404A. [25]



Fig(34) : Diagramme P-H DU cycle simple R404A. [25]

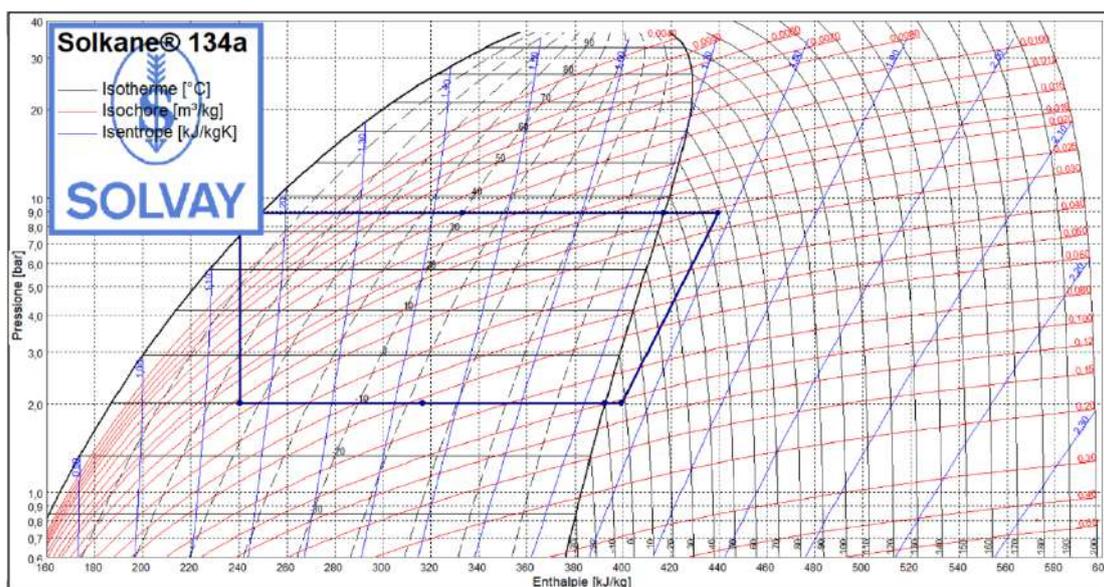
**7.3. Pour la puissance frigorifique : P frigorifique = 300 kW**

**7.3.1. Avec R134a :**

Puissances		Processus à un niveau	
Evaporateur	300 kW	Rapport de compression	4,42
Liquéfacteur	376 kW	Différence de pression	6,86 bar
Compresseur	76,0 kW	Débit massique	1887,6 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	702,9 m³/h
		Capacité volumétrique	1536 kJ/m³
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,95
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

Point	p	t	v	h	s	x
	bar	°C	dm³/kg	kJ/kg	kJ/kgK	--
1	2,01	-2,00	103,44	399,33	1,7583	
2s	8,87	48,65	25,05	431,53	1,7583	
2	8,87	56,40	26,11	439,58	1,7831	
3	8,87	56,40	26,11	439,58	1,7831	
3'	8,87	35,00	23,04	417,07	1,7124	
3"4'm	8,87	35,00	11,95	333,08	1,4394	
4'	8,87	35,00	0,86	249,08	1,1663	
4	8,87	29,00	0,84	240,39	1,1383	
5	2,01	-10,00	26,54	240,39	1,1548	0,261
5"6"m	2,01	-10,00	63,04	316,49	1,4440	
6"	2,01	-10,00	99,54	392,58	1,7331	
6	2,01	-2,00	103,44	399,33	1,7583	

Fig(35) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R134a.[25]



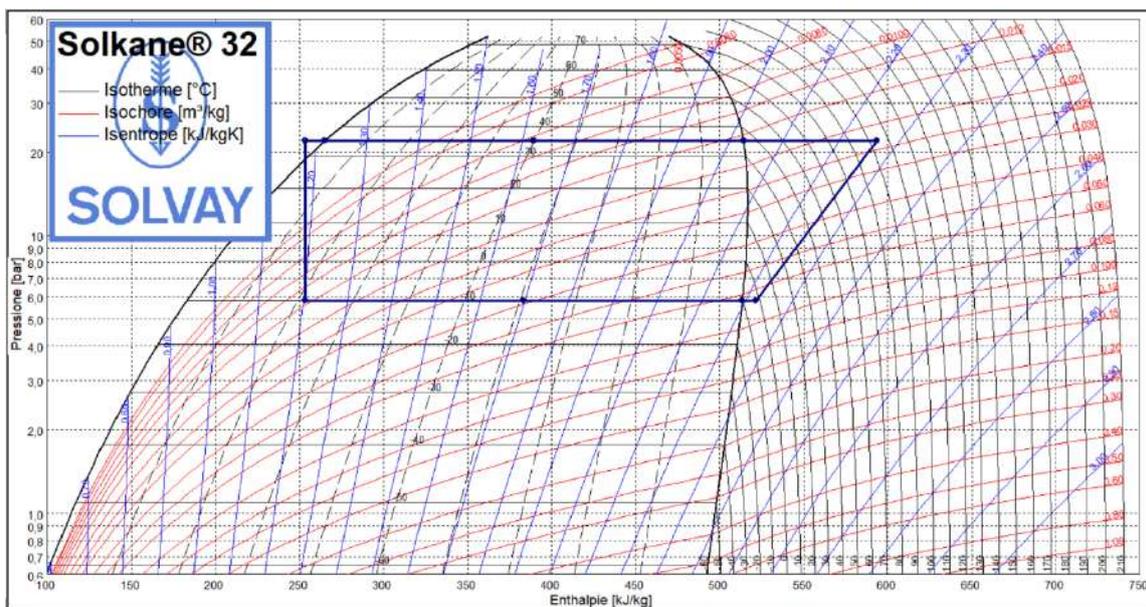
Fig(36) : Diagramme P-H du cycle simple R134a. [25]

7.3.2. Avec R32 :

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	300 kW	Rapport de compression	3,76
Liquéfacteur	380 kW	Différence de pression	16,07 bar
Compresseur	80,1 kW	Débit massique	1117,6 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	266,2 m <sup>3</sup> /h
		Capacité volumétrique	4058 kJ/m <sup>3</sup>
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,74
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

Point	p bar	t °C	v dm <sup>3</sup> /kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x --
1	5,83	-2,00	66,16	521,65	2,2235	
2s	21,90	81,87	21,94	579,00	2,2235	
2	21,90	93,90	23,21	593,34	2,2632	
3	21,90	93,90	23,21	593,34	2,2632	
3'	21,90	35,00	15,80	513,93	2,0261	
3"4'm	21,90	35,00	8,44	389,50	1,6223	
4'	21,90	35,00	1,09	265,07	1,2185	
4	21,90	29,00	1,06	253,22	1,1808	
5	5,83	-10,00	14,16	253,22	1,2039	0,213
56"m	5,83	-10,00	38,63	383,26	1,6981	
6"	5,83	-10,00	63,09	513,31	2,1923	
6	5,83	-2,00	66,16	521,65	2,2235	

Fig(37) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R32. [25]



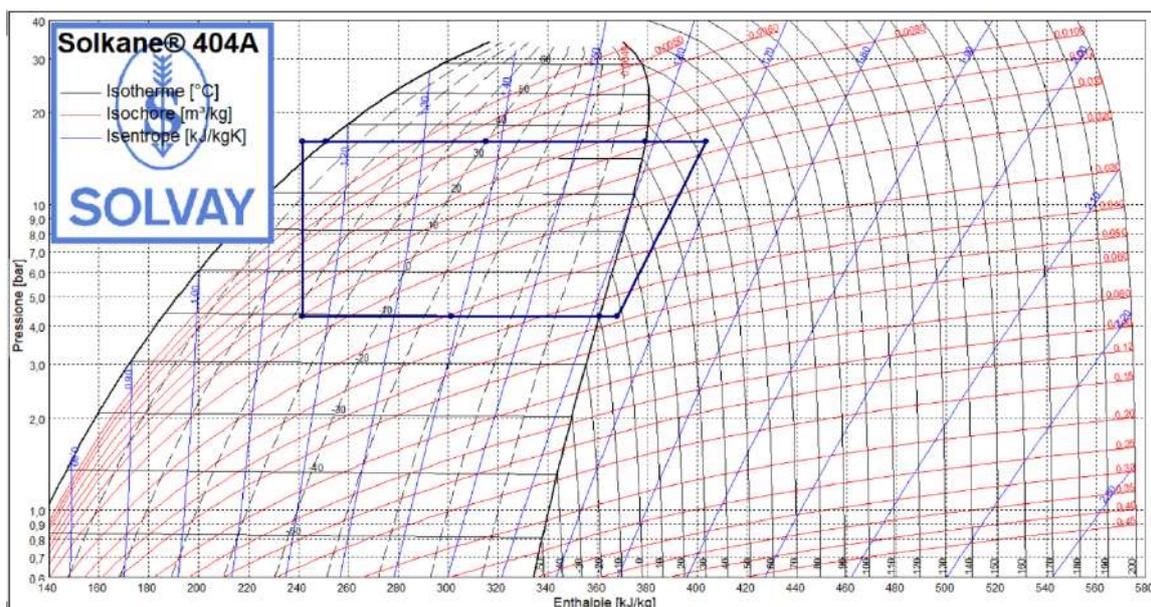
Fig(38) : Diagramme P-H DU cycle simple R32. [25]

7.3.3. Avec R404A :

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	300 kW	Rapport de compression	3,73
Liquéfacteur	381 kW	Différence de pression	11,74 bar
Compresseur	81,5 kW	Débit massique	2374,4 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	408,7 m³/h
		Capacité volumétrique	2643 kJ/m³
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,68
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

	p	t	v	h	s	x
Point	bar	°C	dm³/kg	kJ/kg	kJ/kgK	--
1	4,31	-2,00	47,81	368,10	1,6405	
2s	16,05	47,83	12,89	395,55	1,6405	
2	16,05	53,56	13,46	402,41	1,6617	
3	16,05	53,56	13,46	402,41	1,6617	
3'	16,05	35,00	11,43	379,22	1,5886	
3*4'm	16,05	34,82	6,22	315,14	1,3803	
4'	16,05	34,64	1,01	251,05	1,1720	
4	16,05	28,64	0,97	241,75	1,1414	
5	4,31	-10,38	15,22	241,75	1,1607	0,321
5*6'm	4,31	-10,19	30,43	301,22	1,3867	
6*	4,31	-10,00	45,65	360,69	1,6127	
6	4,31	-2,00	47,81	368,10	1,6405	

Fig(39) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R404A. [24]



Fig(40) : Diagramme P-H DU cycle simple R404A. [24]

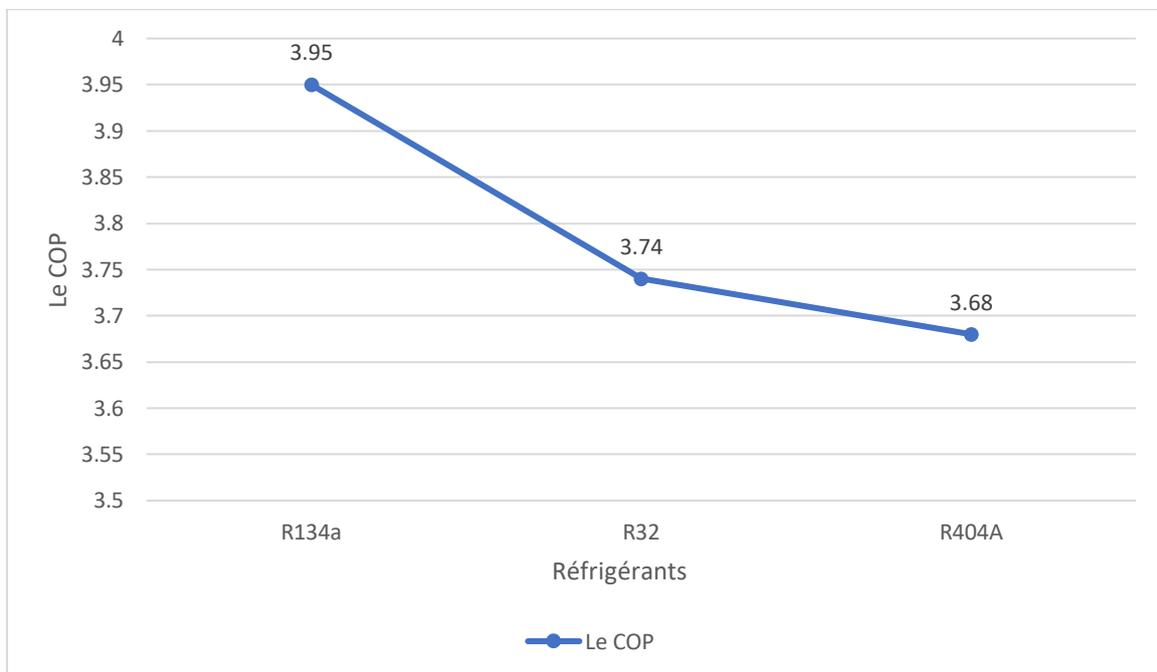
**Remarque :**

D'après les résultats des simulations effectuées sur les 4 fréons, Nous remarquons que la variation de la puissance il pas affecté par le COP contrairement par rapport le débits massique et volumique.

**8. L'influence sur Cop :**

Fréon	R134a	R32	R404A
COP	3,95	3,74	3,68

**Tab(17) :** Résultats sur les performances des fluides frigorigènes.



**Fig(41) :** La variation du COP en fonction des Réfrigérants.

**Remarque :**

On remarque que pour les mêmes conditions de fonctionnement et durant la même durée et par rapport le graphe, le coefficient de performances du R404A qui est de 3,68 est le plus faible contrairement à celui du R134a qui est de 3,95 qui est à son tour le plus élevé, donc non pris en compte dans la discussion des résultats finales, donc le meilleur COP est R134a.

### 9. L'influence sur l'écart de Température :

Fréons	R134a	R32	R404A
Température (C°)	-2,00	-2,00	-2,00
	48,65	81,87	47,83
	56,40	93,90	53,56
	56,40	93,90	53,56
	35,00	35,00	35,00
	35,00	35,00	34,82
	35,00	35,00	34,64
	29,00	29,00	28,64
	-10,00	-10,00	-10,38
	-10,00	-10,00	-10,19
	-10,00	-10,00	-10,00
	-2,00	-2,00	-2,00
	<b>Valeur max de Température</b>	56,40	93,90
<b>Valeur min de Température</b>	-10,00	-10,00	-10,38
<b>L'écart de Température</b>	66,40	103,90	63,94

**Tab(18) :** Variation et l'écart de température.

**L'écart de température :**

$$\Delta T = \text{Valeur max} - \text{valeur min}$$

La valeur maximale de température dans ces trois fréons est 103.90 qui correspond au R32.

La valeur minimale de température de ces trois fréons est 63.94 qui correspond au R404A.

**10. Comparaison des Résultats :**

D'après les résultats des simulations effectuées sur les 3 fréons données pour les mêmes paramètres (R134a, R32, R404A), sans négliger le tableau qui contient les fréons dont l'utilisation est autorisée et ceux non-utilisé car nocif pour notre environnement on remarque que le R134a le plus performant à un COP (coefficient de performance) égale de 3,95.

Il faut choisir un réfrigérant efficace avec une pression d'évaporation dans les conditions de travail supérieure à la pression atmosphérique (évitant ainsi que le circuit ne fonctionne sous vide) et dans les limites de fonctionnement du compresseur. D'autre part, la pression de saturation dans les conditions de condensation doit avoir une valeur modérée qui se situe dans les limites du compresseur, sans dépasser la pression maximale admissible du circuit frigorifique ou de ses composants. [24]

**11. Pour les mêmes paramètres précédents nous changeons les températures (Sous-refroidissement et Surchauffe) :**

- Puissance frigorifique utile nécessaire :  $P_{\text{frigorifique}} = (100, 200, 300) \text{ kW}$
- Température de condensation =  $35^{\circ}\text{C}$
- Température d'évaporation ou d'ébullition  $-10^{\circ}\text{C}$
- Sous-refroidissement =  $5^{\circ}\text{C}$
- Surchauffe =  $6^{\circ}\text{C}$
- Rendement du compresseur = 0,80
- Rendement du moteur électrique = 0,80

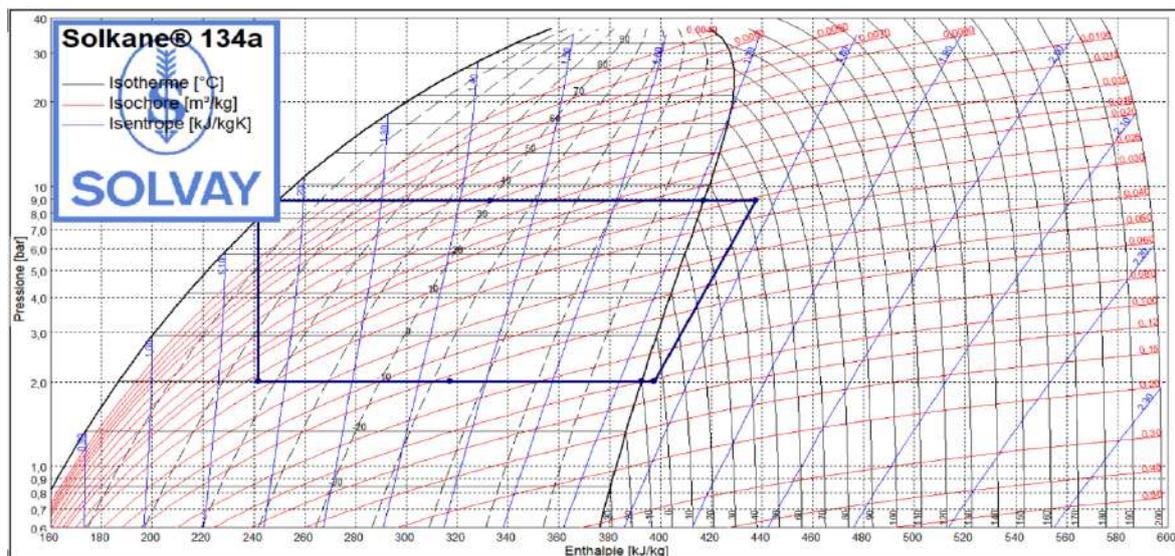
11.1/-Pour le cas de 100kw :

11.1.1/-Avec R134a :

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	100 kW	Rapport de compression	4,42
Liquéfacteur	126 kW	Différence de pression	6,86 bar
Compresseur	25,6 kW	Débit massique	641,8 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	236,8 m³/h
		Capacité volumétrique	1520 kJ/m³
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,91
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

Point	p bar	t °C	v dm³/kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x --
1	2,01	-4,00	102,48	397,64	1,7521	
2s	8,87	46,73	24,78	429,52	1,7521	
2	8,87	54,37	25,84	437,50	1,7767	
3	8,87	54,37	25,84	437,49	1,7767	
3'	8,87	35,00	23,04	417,07	1,7124	
3"4'm	8,87	35,00	11,95	333,08	1,4394	
4'	8,87	35,00	0,86	249,08	1,1663	
4	8,87	30,00	0,84	241,83	1,1429	
5	2,01	-10,00	27,23	241,83	1,1603	0,268
56"m	2,01	-10,00	63,39	317,21	1,4467	
6"	2,01	-10,00	99,54	392,58	1,7331	
6	2,01	-4,00	102,48	397,64	1,7521	

Fig(42) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique R134a pour 100kW. [25]



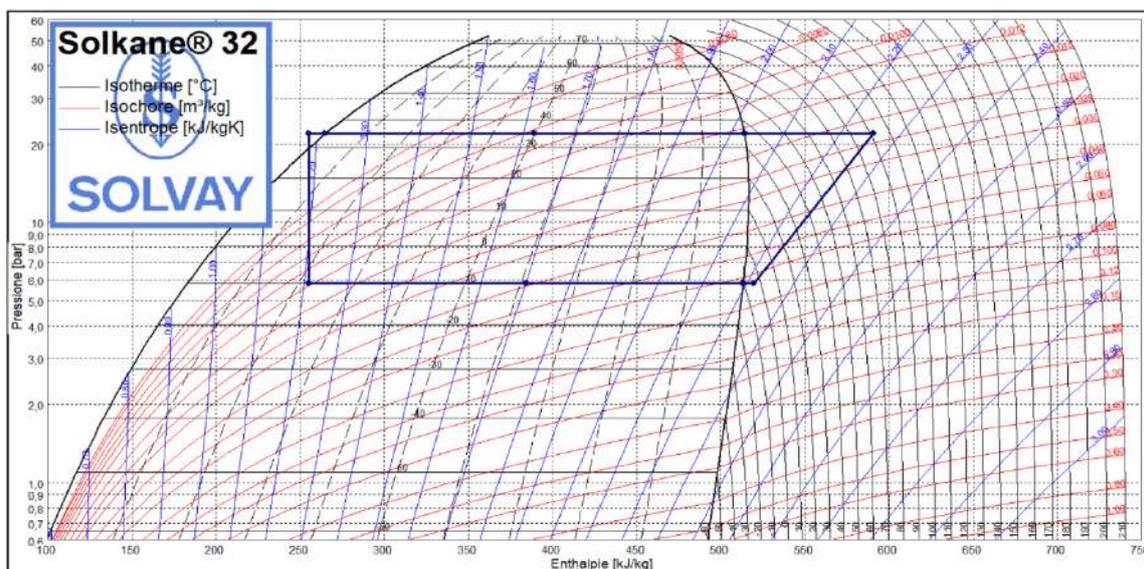
Fig(43): Diagramme P-H du cycle simple R134a pour 100kW. [25]

11.1.2. Avec R32 :

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	100 kW	Rapport de compression	3,76
Liquéfacteur	127 kW	Différence de pression	16,07 bar
Compresseur	26,8 kW	Débit massique	378,2 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	89,04 m <sup>3</sup> /h
		Capacité volumétrique	4043 kJ/m <sup>3</sup>
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,73
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

Point	p bar	t °C	v dm <sup>3</sup> /kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x --
1	5,83	-4,00	65,40	519,59	2,2159	
2s	21,90	79,64	21,69	576,30	2,2159	
2	21,90	91,47	22,96	590,48	2,2554	
3	21,90	91,47	22,96	590,48	2,2554	
3'	21,90	35,00	15,80	513,93	2,0261	
3"4m	21,90	35,00	8,44	389,50	1,6223	
4'	21,90	35,00	1,09	265,07	1,2185	
4	21,90	30,00	1,06	255,16	1,1870	
5	5,83	-10,00	14,53	255,16	1,2113	0,219
56"m	5,83	-10,00	38,81	384,24	1,7018	
6"	5,83	-10,00	63,09	513,31	2,1923	
6	5,83	-4,00	65,40	519,59	2,2159	

Fig(44): Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique R32 pour 100kW. [25]



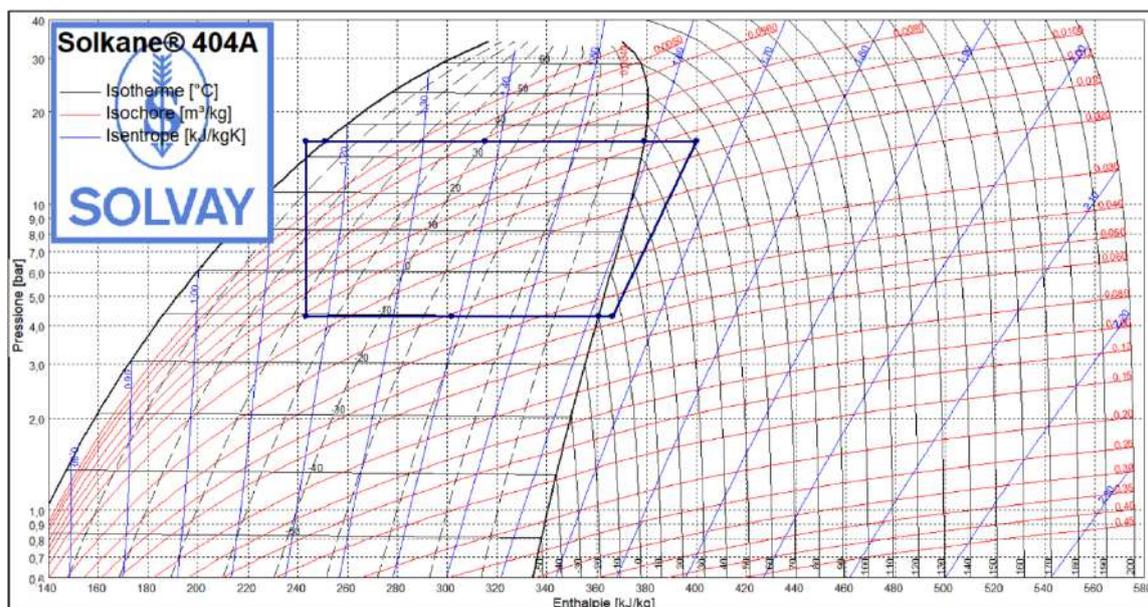
Fig(45) : Diagramme P-H DU cycle simple R32 pour 100kW. [25]

11.1.3. Avec R404A :

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	100 kW	Rapport de compression	3,73
Liquéfacteur	128 kW	Différence de pression	11,74 bar
Compresseur	27,6 kW	Débit massique	813,2 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	138,4 m³/h
		Capacité volumétrique	2601 kJ/m³
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,63
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

	p	t	v	h	s	x
Point	bar	°C	dm³/kg	kJ/kg	kJ/kgK	--
1	4,31	-4,00	47,28	366,25	1,6337	
2s	16,05	46,03	12,70	393,36	1,6337	
2	16,05	51,64	13,27	400,14	1,6547	
3	16,05	51,64	13,27	400,14	1,6547	
3'	16,05	35,00	11,43	379,22	1,5886	
3*4'm	16,05	34,82	6,22	315,14	1,3803	
4'	16,05	34,64	1,01	251,05	1,1720	
4	16,05	29,64	0,98	243,28	1,1464	
5	4,31	-10,38	15,61	243,28	1,1665	0,330
5*6'm	4,31	-10,19	30,63	301,98	1,3896	
6"	4,31	-10,00	45,65	360,69	1,6127	
6	4,31	-4,00	47,28	366,25	1,6337	

Fig(46) : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique R404A pour 100kW. [25]

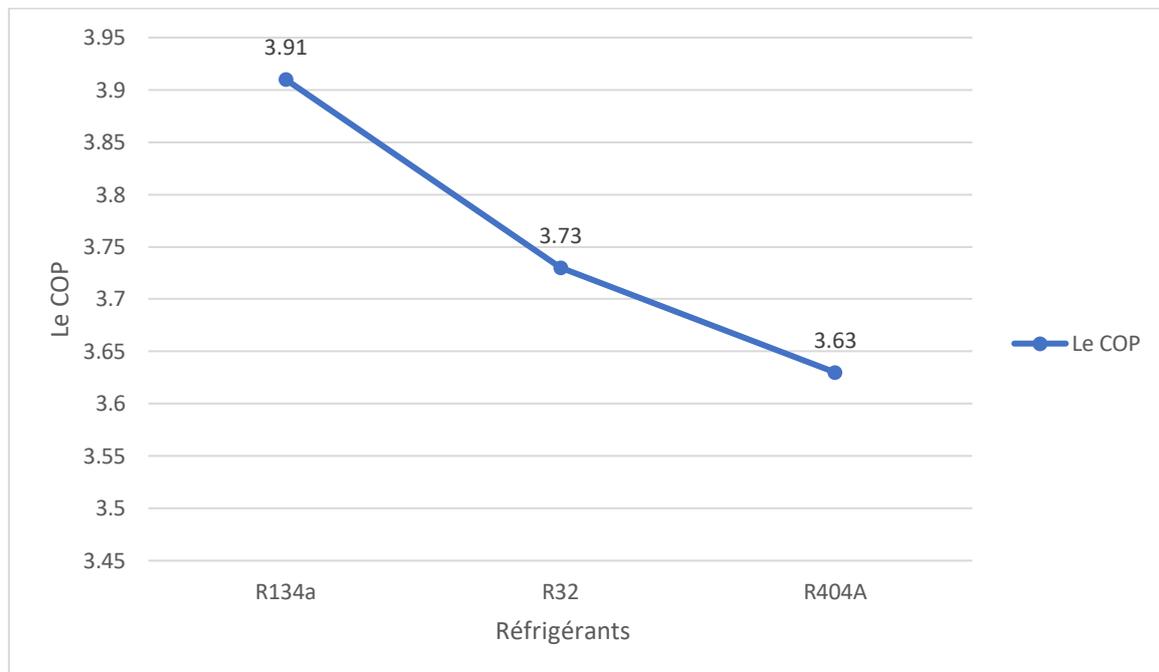


Fig(47) : Diagramme P-H DU cycle simple R404A pour 100kW. [25]

### 11.2. L'influence sur Cop :

Féron	R134a	R32	R404A
COP	3,91	3,73	3,63

**Tab(19)** : Résultats sur les performances des fluides frigorigènes.



**Fig(48)** : la variation de COP en fonction de Réfrigérants.

#### Remarque :

Après que nous ayons changé les températures sous-refroidissement et surchauffe dans les mêmes paramètres précédents et durant la même durée et d'après le graphe. On remarque que le coefficient de performances du R32 qui est de 3,73 presque ça ne change pas, le fréon R404A qui est de 3,63 est le plus faible contrairement à celui du R134a qui est de 3.91 qui est à son tour le plus élevé, donc non pris en compte dans la discussion des résultats finales, donc le meilleur COP est R134a.

#### Conclusion :

Ce travail dans chapitre présente une étude comparative des performances des fluides réfrigérants le R32 et R134a et R404A, et pour garantir une consommation optimale de l'énergie et choisir le type de gaz réfrigérant il faut prendre en compte les facteurs suivants : la valeur de température et pression et le meilleur coefficient de performance (COP).

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale

Tout au long de cette étude il était question de parler des chambres froides. Ces chambres qui permettent à l'homme moderne de conserver les denrées périssables pendant plusieurs jours, voir même des mois, et de lui permettre de s'approvisionner de produits alimentaires, agricole, pharmaceutiques....

Ce mémoire de fin d'étude présente une analyse numérique effectuée sur une chambre froide. L'étude met en évidence les points suivants :

Le choix du fluide réfrigérant a un impact significatif sur l'efficacité de la machine frigorifique.

Il explore l'importance, les applications et les domaines d'utilisation des chambres froides, en se concentrant particulièrement sur les chambres froides positives. Il aborde la nature du froid, son évolution historique, ses principes, son fonctionnement, les composants impliqués et leurs rôles respectifs, ainsi que les connaissances mathématiques et physiques nécessaires pour les comprendre. Il met en lumière les lois et constantes régissant ce domaine, en lien avec les aspects de l'installation tels que les dimensions et l'isolation.

Enfin, le coefficient de performance (COP) a été calculé pour évaluer l'efficacité globale de la machine. En conclusion, trois frigorigènes connus ont été proposés pour compléter cette étude; R32, R134a, R404A ; qu'on a soumis sous les mêmes conditions lors d'une simulation, afin de voir et comparer nos résultats obtenus.

Pour une même charge frigorifique, le fluide frigorigène R134a se distingue comme étant le plus performant sur le plan énergétique, nécessitant une charge moindre lors du fonctionnement de la machine. Les variations de température et de pression tout au long d'un cycle simple (évaporateur, compresseur, condenseur, détendeur) peuvent indiquer quel fréon est le plus avantageux économiquement et matériellement. En comparant les fréons ayant la pression la plus basse en fin de compression, on peut identifier ceux nécessitant le moins d'investissement économique (R11 suivi de R12). De plus, on peut déterminer celui dont la température en fin de compression est la plus élevée, car cela peut entraîner une consommation électrique élevée et des coûts d'installation accrus. Enfin, en calculant le coefficient de performance (COP) pour chaque fréon, on peut les comparer et définir le plus efficace, offrant un bon rapport coût/bénéfice (en termes de conditions de température, de puissance et d'efficacité imposées).

## Bibliographie

- [1] **N.ABAS** « Etude et optimisation d'une chambre froide a réfrigération ». Ecole nationale polytechnique, Oran.2007.
- [2] **Coordination association française du froid** « guide technique de la maitrise de la chaine froid des produits carnés réfrigères ». CEMAGREF.1999.
- [3] **S.BENAZZOZ** « Analyse d'un cycle frigorifique à compression de vapeur muni d'un éjecteur ». Ecole nationale polytechnique, Oran.2015.
- [4] **I.TEYAR** « Etude de faisabilité pour l'alimentation d'une chambre froide par énergie solaire dans le sud Algérien ». Ecole nationale polytechnique, Oran.2010.
- [5] [Le circuit frigorifique en une animation \(abcclim.net\)](#) .
- [6] **N.I.MESTIRI** « Comportement énergétique d'une chambre de conditionnement ». Université Mohamed Khider de Biskra. 2021-2022.
- [7] **B.BADJA, B.BENZAHI** « Etude thermique et dynamique d'une chambre froide ». Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, 2018-2019.
- [8] [https://energypedia.info/images/1/15/Froid Commercial et Chambres Froides.pdf](https://energypedia.info/images/1/15/Froid_Commercial_et_Chambres_Froides.pdf) .
- [9] <https://www.formationfroid.com/circuit-frigorifique/> .
- [10] <https://www.ef4.be/fr/pompres-a-chaleur/technique-generalites/cycle.html> .
- [11] [https://elearning.centre-univ-mila.dz/a-2023/pluginfile.php/72494/mod\\_resource/content/1/chap3\\_diagenthalpique.pdf](https://elearning.centre-univ-mila.dz/a-2023/pluginfile.php/72494/mod_resource/content/1/chap3_diagenthalpique.pdf) .
- [12] <http://www.wikipedia.com>
- [13] **D.ABBAS, A.HOCINE** « étude et dimensionnement d'un centre de dépôt frigorifique ». Université Akli Mohand Oulhadj. Bouira, 2017.
- [14] <https://www.golden-trade.com/cnt/gt20/gaz-refrigerant-r32-difluoromethane-473564-ann.html> .
- [15] **A.AILAS, D.R.REFFI** « Etude chambre froide à température positive ». Université Belhadj Bouchaib. Ain Temouchent. 2018-2019.
- [16] <https://www.mecalux.fr/articles-de-logistique/isolation-thermique-dans-chambres-froides> .
- [17] [https://conseils-thermiques.org/contenu/inertie\\_et\\_dephasage.php](https://conseils-thermiques.org/contenu/inertie_et_dephasage.php) .
- [18] <https://iceshop.fr/guide/comment-isoler-une-chambre-froide/>
- [19] <https://tole-armor.fr/panneaux-sandwich> .
- [20] **S.BEALID, S.IKROUBERKANE, K.MEZAGUER** « Etude comparative entre deux chambres froides équipées de panneaux sandwich et polystyrène expansé avec une alimentation photovoltaïque ». Université Mouloud Mammeri. Tizi Ouzou. 2019.
- [21] [https://energypedia.info/images/1/15/Froid Commercial et Chambres Froides.pdf](https://energypedia.info/images/1/15/Froid_Commercial_et_Chambres_Froides.pdf)

- [22] **R.MAKSENE** « Choix des fluides frigorigènes utilisés pour les climatiseurs ». Université Mouloud Mammeri. Tizi Ouzou. 2014.
- [23] **S.CHOUIREF, A.E.BENSABER** « Etude chambre froide à température positive ». Université Belhadj Bouchaib. Ain Temouchent. 2022-2023.
- [24] <https://tonepi.com/thermodynamique/rendement-dun-cycle-thermodynamique.html#>
- [25] SOLKANE, v 0.8.