

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche

Scientifique

جامعة بلحاج بوشعيب عين تموشنت

Université Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en :

Domaine : Technologie

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

**Thème**

Etude chambre froide a température positive.

**Présenté Par :**

1/-Melle : Chouiref Soheir.

2/-Mr : Bensaber Ahmed Elies.

**Devant les jurys composés de :**

Mr : Bounif Abdelhamid	Pr	U.B.B (Ain Temouchent)	président
Mr : Nehari Tayeb	Dr	U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Melle : Bouafia Farida	Pr	U.B.B (Ain Temouchent)	Examinatrice

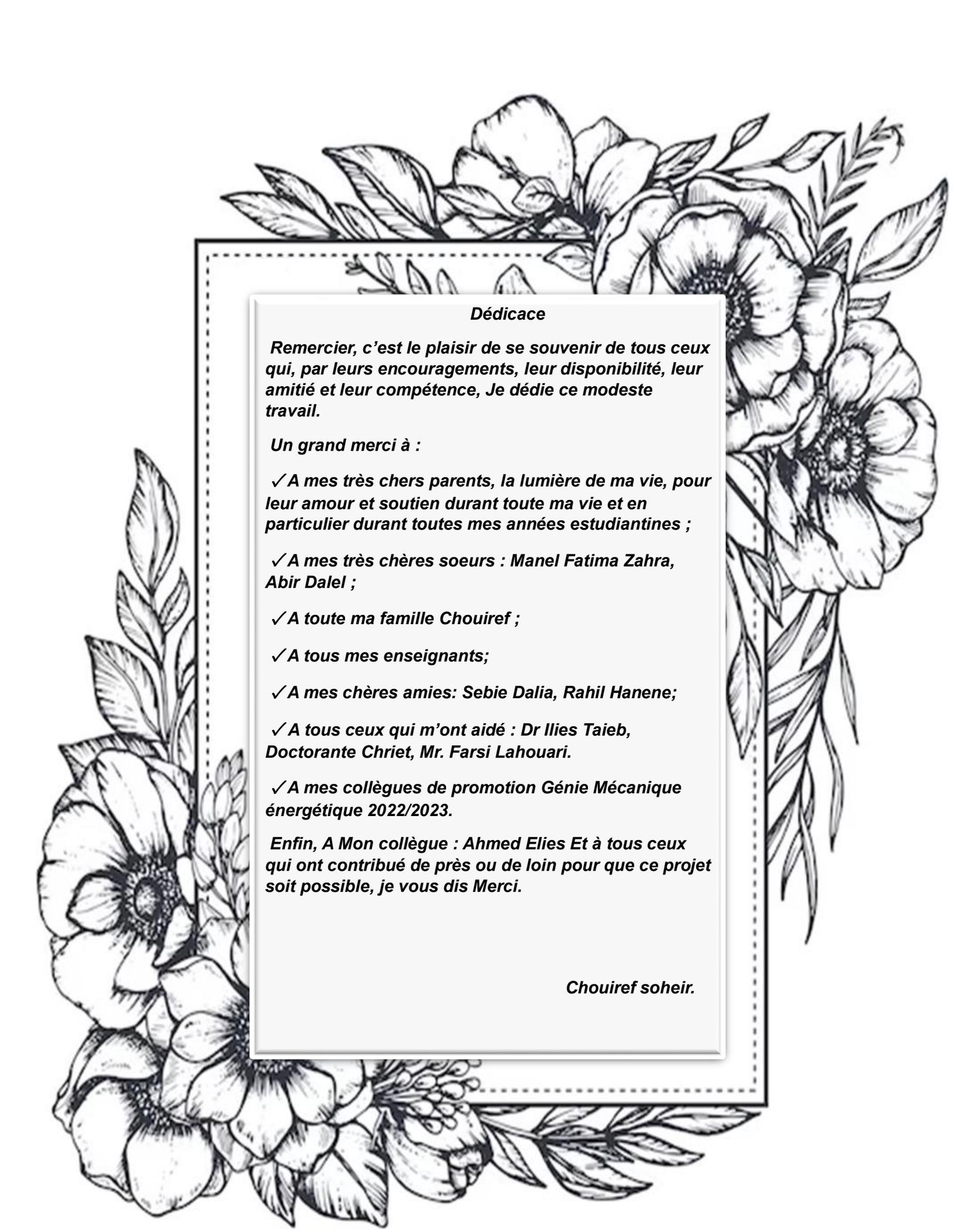
**Année Universitaire :2022/2023.**



### Remerciements

Tout d'abord nous commencerons par remercier dieu tout puissant, de nous avoir donné le courage, l'optimisme et la patience d'accomplir ce modeste travail. Nous remercions nos parents pour leurs sacrifices « Merci d'être ce que vous êtes » Nous remercions notre enseignant : Mr NEHARI Tayeb, pour leur encadrement, leur aide et surtout leur patience tout au long de l'année. Merci d'avance aux membres du jury, qui nous ont honorés de leurs participations et attentions portées à notre mémoire de fin d'études Enfin, nous remercions vont à tous ceux et à toutes celles, qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail avec générosité et un égard exemplaire.





### **Dédicace**

***Remercier, c'est le plaisir de se souvenir de tous ceux qui, par leurs encouragements, leur disponibilité, leur amitié et leur compétence, Je dédie ce modeste travail.***

***Un grand merci à :***

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

***✓ A mes très chères soeurs : Manel Fatima Zahra, Abir Dalel ;***

***✓ A toute ma famille Chouiref ;***

***✓ A tous mes enseignants;***

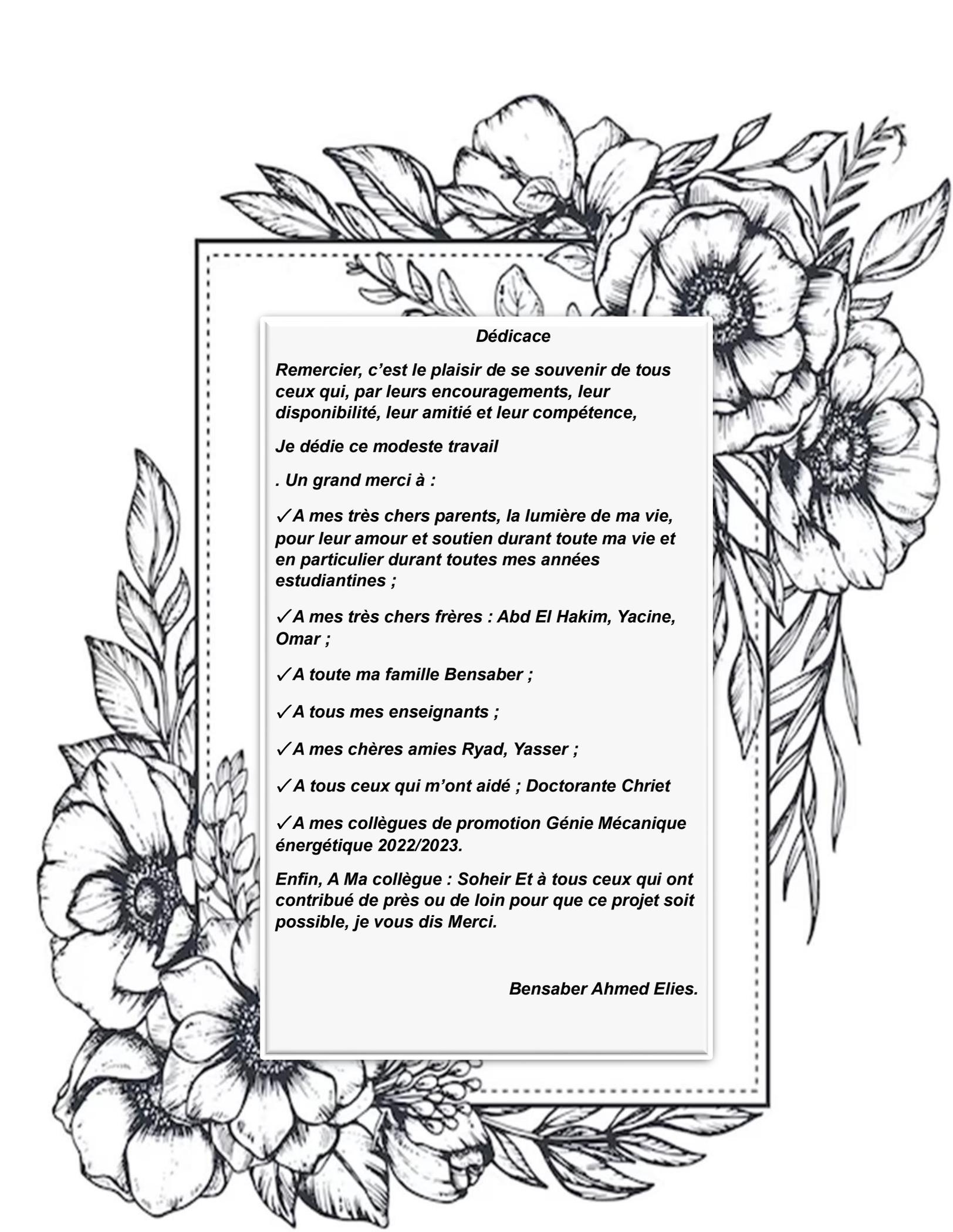
***✓ A mes chères amies: Sebie Dalia, Rahil Hanene;***

***✓ A tous ceux qui m'ont aidé : Dr Ilies Taieb, Doctorante Chriet, Mr. Farsi Lahouari.***

***✓ A mes collègues de promotion Génie Mécanique énergétique 2022/2023.***

***Enfin, A Mon collègue : Ahmed Elies Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis Merci.***

***Chouiref soheir.***



**Dédicace**

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

**Je dédie ce modeste travail**

**. Un grand merci à :**

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

**✓ A mes très chers frères : Abd El Hakim, Yacine, Omar ;**

**✓ A toute ma famille Bensaber ;**

**✓ A tous mes enseignants ;**

**✓ A mes chères amies Ryad, Yasser ;**

**✓ A tous ceux qui m'ont aidé ; Doctorante Chriet**

**✓ A mes collègues de promotion Génie Mécanique énergétique 2022/2023.**

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

**Bensaber Ahmed Elies.**

## **Resumé**

Dans le domaine alimentaire le froid occupe une grande et importante place car il permet de conserver les aliments et les différentes denrées et prolonger leur durée de conservation.

Pour se faire on utilise généralement ce qu'on appelle les chambres froides ou les entrepôts frigorifiques.

Pour apporter un plus à cette évolution, nous avons choisi à l'occasion de notre Travail de Fin d'Etude (TFE), un projet intitulé ETUDE ET REALISATION D'UNE CHAMBRE FROIDE POSITIVE simple.

Dans notre travail nous avons pour commencer parcouru plusieurs travaux précédant de plusieurs sources (local et étranger), plusieurs recherche scientifique a ce sujet et de nombreux sites internet, pour pourvoir récolter assez d'information et de références afin de couvrir tout ce qui est en rapport au chambre froide.

Dans notre travail 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 ce ceux qui doit être connu pour comprendre pendant le deuxième chapitre, au cours du troisième nous avons étudié une chambre froide donnée dont tout les paramètres étaient connus et enfin pour entamé nous avons propose huit différent fréons dont nous avons soumis aux même conditions a fin d'évaluer et de comparer leurs performances grâce a l'aide du logiciel nommé Solkane 8.0.

Mots clés : froide, réfrigération, fréons, cycle frigorifique et COP.

## **Abstract**

In the field of food, the cold occupies a large and important place because it allowed to preserve the various commodities and to prolong their conservation duration.

To do so, we generally use the room named cold rooms or cold stores.

To bring more to these studies, we chose on our opportunity of end study's work, a projet wish theme **is** Analysis and realisation of a positive single stage cold room.

In our work we have begun with reserching several previous works from several sources (local and foreign), several scientific research on this subject and many websites, to be able to collect enough information and references to cover all that is in relation to the cold room.

In our work we first started by talking about cold rooms in general during the first chapter, an in-depth description of its composition and what those who must be known to understand it during the second chapter, during the third we studied a given cold room of which all the parameters were known and finally to start we proposed eight different freons which we subjected to the same conditions in order to evaluate and compare their performances thanks to the help of the software named Solkane.

Keywords: cold, refrigeration, freons, refrigeration cycle and COP.

## ملخص

في قطاع الأغذية، يكتسي البرد أهمية كبيرة لأنه يسمح بالحفاظ على الغذاء والمواد الغذائية المختلفة ويطيل مدة صلاحيتها للقيام بذلك، نستخدم عادة ما نسميه غرف التبريد أو التخزين البارد.

ولزيادة هذا التطور، اخترنا بمناسبة عملنا في نهاية الدراسة، مشروعاً عنوانه دراسة غرفة باردة إيجابية بسيطة وتحققها.

في عملنا بدأنا بتصفح العديد من الأعمال السابقة من عدة مصادر (محلية وأجنبية)، والعديد من الأبحاث العلمية حول هذا الموضوع والعديد من المواقع الإلكترونية، لجمع ما يكفي من المعلومات والمراجع لتغطية كل ما يتعلق بالغرفة الباردة.

بدأنا بالحديث عن الغرف الباردة بشكل عام خلال الفصل الأول، وصف دقيق لتكوينها وما ينبغي أن يعرف خلال الفصل الثاني، خلال الثالث درسنا غرفة باردة معينة كانت جميع معلماتها معروفة واقترحنا ثمانية سائل تبريد معينة أخضعناهم لنفس الظروف من أجل تقييم ومقارنة أدائهم بفضل مساعدة البرنامج المسمى سولكان 8.0.

الكلمات الرئيسية: التبريد، الفريون، دورة التبريد ومؤتمر الأطراف.

# Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Abstracts	
Table de matière	
Liste des figures	
Liste de tableaux	
Nomenclature	
Introduction générale.....	1
<b><u>CHAPITRE I : Etude bibliographique.</u></b>	
1/-Introduction.....	3
2/-Etude bibliographies: .....	3
3/-Conclusion.....	7
<b><u>Chapitre II : Généralités sur les chambres froides et les machines frigorifique</u></b>	
1/-Introduction .....	8
2/-Le froid à travers l’histoire .....	8
3/-La définition du froid.....	9
4/-Modes de production du froid et applications.....	9
5/-Le cycle frigorifique .....	11
5.1/-Le cycle frigorifique de référence .....	11
5.2/-Le cycle théorique .....	13
5.3/- Le cycle parfait.....	13
5.4/- le cycle réel .....	14
6/-Classification des systèmes frigorifiques .....	15
6.1/- Classification selon l’énergie Absorbée .....	15
6.1.1/-Systèmes frigorifiques consommant de l’énergie mécanique (ou électrique) .....	15
6.1.2/-Machines frigorifiques consommant de l’énergie calorifique .....	15
7/- Classification selon le mode de fonctionnement .....	16
7.1/- Phénomène de transfert thermique.....	16

7.2.1/-Machine à compression.....	17
7.2.2/-Machine à absorption .....	17
7.2.3/-Machines à adsorption.....	17
7.2.4/-Machine à éjection .....	18
8.1/- Quelques définitions d'éléments de physiques.....	18
8.1.1/-La chaleur.....	18
8.1.2/- La chaleur sensible.....	19
8.1.3/-La chaleur latente .....	19
8.1.4/-La température .....	19
8.1.5/- L'enthalpie.....	20
8.1.6/- La puissance .....	20
8.1.7/-La pression .....	20
8.1.8/-Sous-refroidissement.....	20
8.1.9/-Surchauffement .....	21
8.1.10/-Coefficient de performance COP.....	21
8.1.11/ODP (ozone dépletion potential).....	21
8.1.12/-GWP (Global warning potentiel) ...	21
8.1.1/-Le fluide frigorigene.....	21
9/-Chambre froide.....	21
9.1/-Définition .....	21
10/- Le circuit frigorifique .....	22
11/-Etude circuit frigorifique a compression de vapeur.....	23
12/- Les composants du circuit frigorifique .....	25
12.1/-Compresseur .....	26
12.2/-Condenseur .....	26
12.3/-Détendeur.....	26
12.4/-Évaporateur.....	26
13/-Les composants annex.....	26
13.1/-Le filtre déshydrateur.....	26
13.2/-Le voyant liquide.....	26
13.3/-La bouteille réservoir de liquide .....	26

13.4/-Les pressostats.....	27
13.5/-La vanne de service .....	27
14/- la nécessissité d'utilisation des chambres froides : .....	27
14.1/- chambre froide positive.....	28
14.2/- chambre froide négative.....	29
15/-Comment respecter les normes d'hygiène avec une chambre froide ? .....	29
15.1/-Chambre froide et hygiène.....	30
16/- Analyse thermodynamique du cycle frigorifique.....	31
16.1/-Premier principe.....	31
16.2/-Deuxième principe .....	31
17/-Avantages et inconvénients d'une chambre froide.....	32
17.1/-Avantages.....	32
17.2/-inconvénient.....	33

### **Chapitre III : Etude des charges thermiques autour d'une chambre froide**

1/-Introduction.....	35
2/-Conditions déterminantes.....	35
3/-Présentation d'une chambre froide .....	36
a/-Dimensions.....	37
4/-Bilan frigorifique d'une chambre froide .....	37
5/-Détermination charges thermique externes : .....	38
5.1/-Charges thermique par transmission à travers les parois Qtr.....	38
A- Murs.....	38
B - Sol (ou plancher) .....	39
C – Plafond : .....	40
D – Porte.....	40
5.2/- Charges thermiques par renouvellement d'air (Qre).....	41
5.3/- Charges thermiques ouverture de porte (Qop) : .....	43
6/-Calcul des charges thermiques internes : .....	43
6.1/-Charges thermiques indépendantes des produits entreposés.....	43
6.2/-Charge thermique due aux personnes (Qpe) : .....	44
7/-Charge thermique interne dépendante des denrées : .....	44

7.1/-Puissance frigorifique intermédiaire d'évaporateur ( $Q_{int}$ ) .....	44
7.2/-Charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs ( $Q_{vent}$ ).....	45
7. 3/-Charge thermique due résistantes de dégivrage $Q_{dég}$ .....	45
8/-Sélection des composants d'installation frigorifique : .....	46
8.1/-Choix fluide frigorigène.....	46
8.2/-Réglementation Européenne : .....	46
8.3/-Choix Température d'évaporateur.....	46
8.3/-Choix de groupe de condensation .....	47
9/-Calcul de l'installation.....	48
9.1/-Calcul de la température de la surchauffe .....	48
9.2/-Calcul du taux de compression .....	48
9.3/-production frigorifique massique ( $Q_{fm}$ ).....	48
9.4/-Production frigorifique volumique ( $Q_{fv}$ ).....	48
9.5/- Travail théorique du compresseur par 1kg de fluide .....	48
9.6/- Débit massique du fluide frigorifique ( $q_m$ ) : .....	48
9.7/- Volume horaire aspiré ( $V_{as}$ ) .....	48
9.8/- rendement volumétrique ( $q_v$ ) : .....	48
9.10/-Coefficient de performance idéal ( $f$ ) : .....	48
9.11/-Coefficient de performance réel ( $Cop$ ) : .....	49
9.12/- le rendement thermodynamique.....	49

#### **Chapitre IV : Résultats et Discussions.**

1/-Introduction.....	50
2/-Description du logiciel SOLKANE.....	50
3/-Les fluides frigorigènes SOLKANE.....	50
4/-comment sélectionner les fluides frigorigènes sur Solkane.....	53
5/-Les Fluides frigorigènes.....	55
6/-Presentation des paramètres qui affiche les résultats.....	58
7/ circuit frigorifique simple.....	58
7.1/- Avec R22 .....	58
7.2/-Avec R32 .....	59
7.3/-Avec R134a .....	60

7.4/-Avec R404A .....	61
7.5/-Avec R407A .....	62
7.6/- Avec R410A .....	63
7.7/-AvecR11 .....	64
7.8/-Avec R12 .....	64
8/- l'influence sur Cop.....	65
8/-l'influence sur l'écart de Température .....	65
9/-Discussions des Résultats.....	66
10/-CONCLUSION.....	67
Conclusion générale.	

## Liste des Figures :

### Chapitre II : Généralités sur les circuits frigorifiques.

Figure 1 Principe de production du froid [10].....	9
Figure 2 : Schéma de la machine frigorifique de base [10].....	11
Figure 3 : Cycle frigorifique de référence [10] .....	12
Figure 4 : les cycles frigorifiques [10] .....	14
Figure 5 : les cycles d'une machine di-therme [11] .....	15
Figure 6 : Cycle d'une machine tri-therme [11] .....	16
Figure 7 : Types des machines frigorifiques utilisant la vaporisation d'un frigorigène [11] .....	18
Figure 8 : Les composants du circuit frigorifique [12] .....	23
Figure 9 : Les états du fluide frigorigène [12] .....	24
Figure 10 : Les états successifs du fluide frigorigène [12] .....	24
Figure 11 : Circuit frigorifique de base [13].....	26
Figure 12 : Chambre froide [15].....	29
Figure 13 : Chambre froide positive [15] .....	29
Figure 14 : Chambre froide négative [15] .....	30
Figure 15 : Chambre froide et hygiène [17].....	31
Figure 16 : Machine frigorifique (transfert de chaleur d'une source froide à une source chaude) [18] .....	32

### Chapitre IV : Résultats et discussion.

Figure 1 : Listes des fluides frigorigène Solkane [22] .....	53
Figure 2 : Les caractéristiques thermo physique du fluide choisis [22].....	54
Figure 3 : Liste de fluides frigorigènes les plus répandus et leurs propriétés [23].....	57
Figure 4 : Cycle froid simple [22] .....	58
Figure 5 : Paramètres thermodynamiques du cycle simple R22.....	59
Figure 6:Diagramme P-H du cycle simple R22.....	59
Figure 7 : Paramètre thermodynamiques du cycle frigorifique simpleR32.....	60

<b>Figure 8 : Diagramme P-H du cycle simpleR32.....</b>	<b>60</b>
<b>Figure 9 : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R134a.....</b>	<b>61</b>
<b>Figure 10 : Diagramme P-H du cycle simple avec R134a.....</b>	<b>61</b>
<b>Figure 11 : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R404A.....</b>	<b>62</b>
<b>Figure 12: Diagramme P-H du Cycle simpleR404a.....</b>	<b>62</b>
<b>Figure 13:Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple avec R407a.....</b>	<b>63</b>
<b>Figure 14: Diagramme P-H du cycle simple R404a.....</b>	<b>63</b>
<b>Figure 15:Parametres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R410a.....</b>	<b>64</b>
<b>Figure 16: Diagramme P-H du cycle simple avec R410a.....</b>	<b>64</b>
<b>Figure 17 : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifiques simple avecR11.....</b>	<b>65</b>
<b>Figure 18 : Paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple avec R12.....</b>	<b>66</b>

## Liste des tableaux :

### Chapitre II : Généralité sur les circuits frigorifique

Tableau 1 : Quelques phénomènes du transfert thermique [11] .....16

### Chapitres IV : Résultats et discussion

Tableau 1 : ODP et GWP des fluides frigorifiques. .... 55

Tableau 2 : Liste des fluides frigorigènes les plus réponsus et leurs propriétés.[23] ..... 57

Tableau 3 : Résultats sur les performances des fluides frigorigènes. .... 66

Tableau 4 : Variation et l'écart de température. .... 67

## Nomenclature :

T	Température	°C
H	Enthalpies massique	j/kg S Entropies j/kg
W	Travail	j/kg V Volume spécifique m <sup>3</sup> /kg
P	Pression	Pascal
Cp	Capacité calorifique	à P=cste, J/kg.K
Cv	Capacité calorifique	à V=cste, J/kg.K
Q	Puissance thermique	W
η	Rendement	%
ΔT	Surchauffe	K, °C
hi	Coefficient de convection intérieur	W /m <sup>2</sup> .k
he	Coefficient de convection extérieur	W /m <sup>2</sup> .k
λ	Conductivité thermique	W/m.K
k	Coefficient de transmission thermique	W/m <sup>2</sup> .k
τ	Taux de compression	/
ΔH	Déférence d'enthalpie	KJ/kg
Qtr	Charges thermique par transmission à travers les parois	W
Qre	Charges thermiques par renouvellement d'air	W
Mae	débit massique de l'air extérieur admis	kg/s
Qec	La charge thermique due à l'éclairage	W
Qpe	Charge thermique due aux personnes	W
Q int	Puissance frigorifique intermédiaire d'évaporateur	W
Q pre	la puissance frigorifique prévisionnelle	W
Qvent	Charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs	W
Qdég	Charge thermique due résistantes de dégivrage	W
Qef	puissance frigorifique effective de l'évaporateur	W
vae	débit volumique de l'air extérieur admis	m <sup>3</sup> /kg

$\rho_{aa}$	masse volumique de l'air extérieur admis en	kg/m <sup>3</sup>
T <sub>sr</sub>	Température de la surchauffe	°C
Q <sub>fm</sub>	production frigorifique massique	kJ/m <sup>3</sup>
Q <sub>fv</sub>	Production frigorifique volumique	kJ/m <sup>3</sup>
W <sub>th</sub>	Travail théorique du compresseur	kJ/kg
Q <sub>m</sub>	Débit massique du fluide frigorifique	kg/s
q <sub>v</sub>	rendement volumétrique	%
$\eta_{th}$	Rendement théorique	%
$\lambda_{pi}$	Conductivité polystyrène expansé	W/m.K
$\lambda_b$	Conductivité brique creuse	W/m.K
$\lambda_{E x}$	Conductivité Enduit ciment	W/m.K
e <sub>n</sub>	Epaisseur de La paroi j (n parois composées en série)	m
L	Largeur	m
H	Hauteur	m
I	Profondeur	m
C <sub>ra</sub>	Coefficient rideau d'air	/
T <sub>e</sub>	Température ambiante extérieur de la chambre froide	°C

# Liste des abréviations

CFC	Les chlorofluorocarbures.
HCFC	Hydro chlorofluorocarbures
COP	Coefficient de performance.
ODP	Ozone depletion potential
GWP	Global warning potential
BP	Basse pression
HP	Haute pression
Q <sub>tr</sub>	Charge thermique par transmission à travers les parois.
Q <sub>re</sub>	Charges thermiques par renouvellement d'air.
Q <sub>op</sub>	Charges thermiques ouverture de porte.
$\rho_{ae}$	Masse volumique
Q <sub>ec</sub>	Charges thermiques indépendantes des produits entreposés
Q <sub>pe</sub>	Charge thermique due aux personnes.
Q <sub>int</sub>	Puissance frigorifique intermédiaire d'évaporateur.
Q <sub>vent</sub>	Charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs.
Q <sub>dég</sub>	Charge thermique due résistantes de dégivrage.

# **Chapitre I :**

*Recherche*

*bibliographique*

## 1-Introduction

Une chambre froide est un local qui permet de conserver et stocker à basse température des objets pour éviter l'endommagement, dans ce chapitre on a traité plusieurs thèses de mémoires concernant ce dernier dans le but de prendre assis d'information de la température de conservation de chacun des objets (poisson, lait, fromage, produit médical, grains, des aliments industriels ...etc.) et même l'humidité, ces deux facteurs aident à choisir des chambres froides pour garantir la conservation et éviter le râtinement et le rancidité et flétrissure des tissus animaux .

## 2-Etude bibliographies

Le froid est le terme utilisé pour désigner un manque relatif de chaleur, cependant dans un sens plus large, c'est un moyen de conserver des aliments ou des produits peuvent être altérés et détruits par la chaleur, dans le domaine agro-alimentaire les denrées entreposées représentent un capital assez Considérable On a pu estimer que dans certaines régions du monde, 50% des denrées alimentaires Disponibles se perdent entre la période qui s'écoule entre le moment de la production et celui de la Consommation. Ainsi, dans le domaine alimentaire, l'objectif du froid est de maintenir la qualité originale des produit en limitant (ou en supprimant) les altérations liées au développement des microorganismes, altérations très rapides dans les pays chauds à cause des conditions climatiques (Température, humidité relative) qui sont favorables à la Prolifération des bactéries, levures et Moisissures .Pour les produits fabriqués par l'industrie agroalimentaire (lait, fromage...), le froid permet D'améliorer leur qualité en favorisant la maîtrise des conditions de fabrication par une Optimisation Des paramètres climatiques influençant le comportement des microorganisme. [1]

Le froid trouve de nombreuses applications dans des domaines très variées (industrie Agroalimentaires, médecine, confort thermique, pétrochimie...) et c'est dans le domaine Alimentaire que le froid occupe une place prépondérante car il permet de limiter les gaspillages (Pertes après récolte...) et de prolonger la durée de conservation des produits ce qui permet un élargissement des échanges. Dans le domaine agro-alimentaire les denrées entreposées représentent un capital assez considérable. Le froid permet aussi l'augmentation du volume de production agricole par la modification du cycle Végétatif des plantes améliorant ainsi leur rendement (printanisation des céréales...).[2]

En production animale, le froid permet la conservation longue durée du sperme destiné à l'insémination artificielle ou encore la conservation des sérums et des vaccins destinés à enrayer Les épidémies frappant les animaux. [2]

Un calcul sur le bilan thermique pour un groupe qui contient 4 chambres froides qui sont situées dans la zone de Hassi Messaoud et on a choisi une température dont la période d'été qui est la période la plus chaude dans cette zone de Sahara, après on a généralisé les calculs pour certaines différentes températures extérieures pour voir l'influence de changement de la température extérieur sur les différents apports et les paramètres de notre cycle frigorifique de ces chambres.[1]

En pratique, les systèmes de réfrigération nécessitent des réfrigérants pour Fonctionner, qui ont souvent des effets néfastes sur l'environnement. Les chlorofluorocarbures (CFC), ainsi que les hydro chlorofluorocarbures (HCFC), étaient considérés comme des réfrigérants « miracles » jusque dans les années 1980 en raison de leurs excellentes propriétés physiques, mais ne peuvent plus être utilisés en raison de leur capacité à détruire la couche d'ozone stratosphérique. [3]

De plus, même si les fluides de remplacement (les HFC et les fluides naturels tels l'ammoniac), sont neutres vis-à-vis de la couche d'ozone, ils n'en demeurent pas moins dangereux pour notre milieu naturel : effet de serre, acidification, etc. En raison des contraintes liées à l'environnement, Il est indispensable d'évaluer l'impact des fluides réfrigérants utilisés dans le climatiseur.[3]

Le mode d'emploi du système de réfrigération et leurs impacts sur l'environnement. [4]

L'importance de la chaîne de froid sur la conservation de produits thermosensibles dans l'intervalle de 2°C, 8°C. On a fait aussi un bilan frigorifique pour calculer la puissance de notre chambre froide qui est située au MEDEA sous la température 4°C. [4]

Une importance politique d'animation de l'agriculture artisanale et locale : Mise à la disposition des agriculteurs une chambre de conservation, pour qu'en période de captures abondantes, on puisse conserver une partie jusqu'aux périodes de raréfactions donnant lieu à de bon prix et l'utilisation d'une source de dégivrage par l'eau chaude et la technique « Free Cooling » en réduisant la consommation électrique dont l'impact positif incontestable et les coûts d'exploitation ne sont pas exorbitants. [5]

Mise à la disposition des agriculteurs une chambre de conservation, pour qu'en période de captures abondantes, on puisse conserver une partie jusqu'aux périodes de raréfactions donnant lieu à de bon pris.[6]

Utilisation d'une source de dégivrage par l'eau chaude et la technique « Free Cooling » en réduisant la consommation électrique dont l'impact positive Incontestable et les couts d'exploitation ne sont pas exorbitants.[6]

L'étude de la congélation et la réfrigération à l'aide d'une chambre froide négative et positive respectivement par la location des chambres froides à des particuliers pour la conservation de leurs produits réfrigérés ou congelés. [6]

L'étude économique et financière des chambres positives et négatives pour déterminer le coût de la prestation de service qui s'élève en moyenne à 80 francs CFA par jour par kg de produit conservé.[7]

La production de froid nécessite la mise en place d'une machine frigorifique constituée essentiellement d'un évaporateur, d'un compresseur, d'un condenseur et d'un détendeur. Le choix de ces appareils est fait à partir de la quantification des besoins en froid, c'est-à-dire une détermination exhaustive des gains thermiques de l'enceinte.[7]

Le but est de concevoir des chambres froides (à température positive et négative) exploitées en prestations de services au profit des producteurs et commerçants. Le site d'implantation choisi pour le dudit projet est la commune d'Abomey-Calavi.[7]

L'efficacité énergétique dans les industries est un sujet d'actualité. Le but de ce mémoire. Il s'agit ici d'effectuer un diagnostic d'installation frigorifique, et suggérer des solutions permettant de diminuer les consommations d'énergie. C'est ainsi que nous avons traité deux aspects essentiels. Premièrement déterminer la température optimale de fonctionnement et la température de condensation qui variée entre 15°C et 50°C. Deuxièmement, déterminée la température optimale de sous refroidissement et surchauffe du cycle frigorifique, et calculer le coefficient de performance de chaque température. [7]

Les résultats expérimentaux obtenus. A été conclu que les paramètres influençant sur les performances du prototype du chambre froide à température positive sont : les températures de

fonctionnement du cycle, températures de condensation, et la température de sous refroidissement et surchauffe.[7]

Établir le bilan énergétique et thermique d'une chambre froide, après avoir calculé les apports de chaleur concernant ce bilan. [8]

La facture énergétique représente une part importante des couts d'exploitation des installations frigorifiques. Par conséquent, la maîtrise de la consommation énergétique constitue un about de compétitivité économique non négligeable pour les entreprises dont la production du froid constitue une activité principale et en particulier pour les entrepôts frigorifiques. L'amélioration de l'efficacité énergétique des installations frigorifiques peut également engendrer d'importantes économies d'énergie pour les nombreuses branches de l'industrie qui utilisent le froid dans des procédés de fabrication ou dans le conditionnement des locaux.[8]

Le froid prend de nos jours de plus en plus d'importance dans notre vie que ce soit pour la conservation des aliments dans les processus industriels ou pour le confort personnel. Le but de l'entreposage frigorifique est d'obtenir un temps de conservation donné en fonction de la nature des denrées et des exigences commerciales, avec des frais de conservation réduits au maximum, sans que leur valeur marchande soit dépréciée, du fait d'un changement de coloration, d'un ratatinement ,de flétrissure pour les tissus animaux , de rancidité fait d'une perte des poids excessive, etc.Ce projet se propose d'être une modeste contribution à l'étude du très sérieux problème de stockage et congélation des poisson.Ils ont obtés pour une chambre frigorifique dans la région de Médéa. [9]

La conception d'une chambre froide ne se limite pas uniquement à l'évaluation des charges. D'autres facteurs sont à étudier notamment les dispositions relatives à la mise en œuvre pratique de la chambre froide ou l'intégration de catalogues des constructeurs pour le choix des équipements et des matériaux. Ces aspects peuvent être intégrés au logiciel afin de le rendre plus complet.[9]

Dans les pays chauds et humides, une température de l'ordre de +10°C permet une bonne conservation du poisson fumé, du lait concentré ou en poudre, des conserves de viandes...ce qui montre une bonne complémentarité entre le froid et les autres techniques de conservations (séchage...). [10]

Il faut retenir que l'alimentation d'une population mondiale sans cesse croissante exige que des efforts réalisés pour accroître les productions alimentaires soient accompagnés d'initiatives destinées à réduire sinon à éliminer les pertes qui autrement resteraient considérables à toutes les étapes de la distribution et de la transformation des aliments. Dans le contexte des pays africains en voie de développement, ces initiatives de conservation des aliments doivent couvrir un vaste champ de techniques (abaissement de l'activité de l'eau, traitements thermiques à haute température, traitement thermique à basse température, abaissement du pH, utilisation d'additifs alimentaires, préparation stockage condition des aliments, séparation ou fractionnement). [10]

### **3-Conclusion**

En conséquence de ce qui précède, les chambres froides positives et négatives sont conçues de manière à être proportionnées à la température et à l'humidité du lieu à y installer, dans le but de conserver la chose le plus longtemps possible, d'éviter les dommages. Connaître la quantité d'énergie consommée dans les deux, comment l'utiliser, la méthode de sélection les chambres à des fins de refroidissement ou de congélation et même les composants essentiels d'une chambre froide avec le cout d'installation et de service et leurs risques pour l'environnement.

Pour réutiliser ces choses qui ont été stockées par réfrigération ou congélation, nous utilisons la méthode du dégrivage « free Cooling », abaissement de l'activité de l'eau, traitements thermiques à haute température, traitement thermique à basse température, abaissement du pH, utilisation d'additifs alimentaires, préparation et stockage condition des aliments, séparation ou fractionnement.

# **CHAPITRE II :**

## *Généralités sur les circuits frigorigifiques*

## 1-Introduction

Pour bien construire une chambre froide on a besoin de prendre en considération les différents paramètres thermiques tels que la température et l'humidité adaptés à l'endroit qui nous intéresse pour garantir un bon refroidissement de l'objet précis. Dans notre chapitre on verra la définition des différents éléments physique qui afflux sur la conception et une installation appropriée.

## 2-Le froid à travers l'histoire

Produire du froid est un procédé relativement récent à l'échelle historique. Durant l'antiquité, Grecs et Romains conservaient le froid hivernal sous forme de neige ou de glace stockée dans des abris souterrains isolés à l'aide de paille ou de foin, ce qui permettait de rafraîchir les boissons et la nourriture même pendant l'été. C'est durant cette même période de l'histoire que l'on découvrit que l'on pouvait obtenir des températures plus basses en mélangeant de la glace pilée et du sel marin. Plus récemment, au XIXème siècle, la production de froid se développa très rapidement avec l'avancement des connaissances en électricité. [1]

1805 : La première machine frigorifique à compression d'éther est imaginée par l'Américain Evans ;

1835 : Un autre Américain, Perkins, réalise à Londres le premier circuit frigorifique avec de l'éther comme fluide frigorigène. Cette machine, qui fabrique de la glace, n'a pas retenu l'attention des industriels. L'industrie du froid ne prend son essor que plusieurs dizaines d'années plus tard, notamment avec l'emploi des moteurs électriques ;

1844 : Création de la machine frigorifique à air ;

1859 : Apparition de la première machine frigorifique à absorption ;

1913 : Le premier réfrigérateur domestique fait son apparition ;

1919 : La marque Frigidaire fait son apparition ;

1928 : Découverte des molécules de CFC 12 par Midgley & Henne de la division Frigidaire de General Motors ;

1931 : La fabrication industrielle commence avec Electrolux ;

1950 - Démocratisation des réfrigérateurs ;

1964 : Les réfrigérateurs à 2 portes font leurs apparitions ;

Années 70 : Les appareils s'accessoirisent : lumière, différents compartiments ;

Années 80 : Apparitions des premiers réfrigérateurs combinés et des appareils bimoteurs ;

Années 90 : De nouveaux gaz plus propres sont utilisés ;

Années 2000 : Le véritable défi devient l'environnement.[1]

### 3-La définition du froid

C'est la sensation que fait éprouver l'absence, la perte ou la diminution de la chaleur. Le froid est à la chaleur ce que l'obscurité est à la lumière.

Le froid est un terme négatif. Il indique simplement l'absence ou la diminution de la chaleur. Un corps est qualifié de « froid » s'il est en contact thermique avec un autre corps de température plus élevée et duquel il est susceptible de recevoir de la chaleur.

Le transfert de la chaleur naturelle se fait toujours du niveau de température  $T_a$  haut vers le niveau de température bas  $T_b$ . [1]

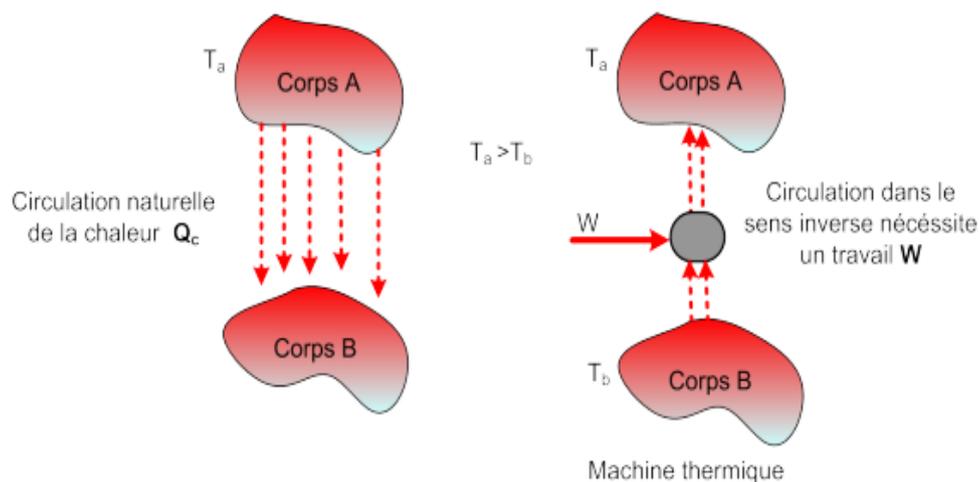


Figure 1 : Principe de production du froid. [1]

D'une façon générale dans le domaine de froid on trouve deux types fondamentaux :

- Le froid positif : la réfrigération (Climatisation inclus)  $T \geq 0^\circ\text{C}$  consiste à produire et maintenir une température inférieure à la température ambiante ;

-Le froid négatif : la congélation  $T < 0^\circ\text{C}$

### 4-Modes de production du froid et applications

La production du froid qui consiste à absorber la chaleur contenue dans un milieu peut être obtenue suivant plusieurs modes. [1]

De même, les applications du froid sont très variées. Parmi les différentes modes de production du froid, il faut retenir :

La sublimation d'un solide (cas du CO<sub>2</sub>), la détente d'un gaz comprimé, la fusion d'un corps solide, le refroidissement thermoélectrique, la dissolution de certains sels, la désaimantation adiabatique, la vaporisation d'un liquide en circuit fermé. [1]

La sublimation d'un solide consiste à le faire passer de l'état solide à l'état vapeur par absorption de chaleur, le cas le plus courant est celui du CO<sub>2</sub> qui à la pression atmosphérique a une température de sublimation de 78.9 C. [7]

La détente d'un gaz comprimé repose sur le principe de l'abaissement de la température d'un fluide lors de sa détente (avec ou sans travail extérieur).

Cependant, cet abaissement est plus important lors de la détente sans travail extérieur (détente Joule -Thomson : étranglement à travers une vanne) mais il ne faut pas perdre de vue que le refroidissement du gaz détendu aura lieu seulement dans le cas où sa température avant la détente serait inférieure à la température d'inversion de l'effet Joule - Thomson.[7]

La fusion d'un corps solide se fait à température constante par absorption de la chaleur latente de fusion du corps considéré, ce procédé discontinu bien que simple présente l'inconvénient de nécessiter une congélation préalable à moins que cet état ne soit disponible à l'état naturel. [7]

Le refroidissement thermoélectrique (effet Peltier) est utilisé pour produire de très petites quantités de froid. Il consiste à faire passer un courant continu dans un thermocouple constitué de conducteurs de natures différentes reliés alternativement par des ponts de cuivre.[7]

La dissolution d'un sel dans l'eau provoque un abaissement de la température de la solution. Ce n'est pas un phénomène très utilisé dans l'industrie frigorifique à cause de la nécessité de vaporisation ultérieure de l'eau (récupération du sel).[7]

La désaimantation adiabatique consiste en une réorganisation du cortège électronique d'un corps, ce qui permet l'obtention de très basses températures (10<sup>-2</sup> à 10<sup>-6</sup> K).[7]

La vaporisation d'un liquide permet de produire du froid par l'absorption de la chaleur à travers un échangeur (évaporateur).[7]

Pour production de froid il y a deux types :

-La production d'une force motrice ou « travail ».

-La production de froid ou la revalorisation de la chaleur

## 5-Le cycle frigorifique

### 5.1/-Le cycle frigorifique de référence

Le cycle frigorifique d'une machine frigorifique est habituellement représenté dans le diagramme thermodynamique enthalpie (h) - pression (Log P) appelé diagramme enthalpique ou diagramme de Molliere des frigoristes.[10]

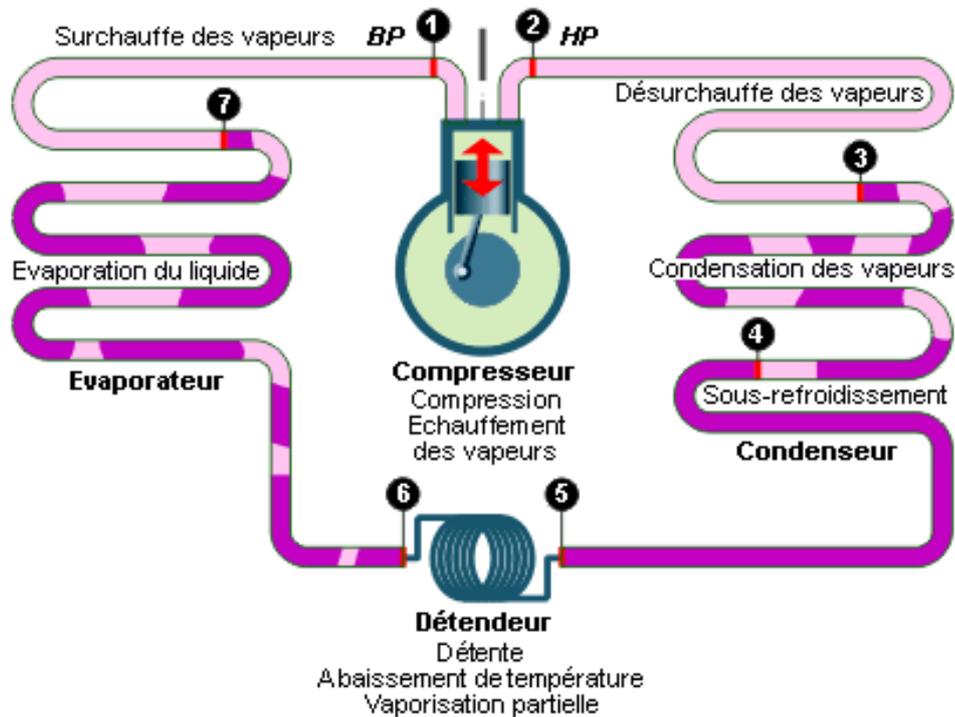


Figure 2 : Schéma de la machine frigorifique de base.[10]

Suivant le schéma de la machine frigorifique de la figure 1.0, le fluide frigorigène (FF) Circulant dans le circuit frigorifique suit les évolutions suivantes :

- Entre 1 et 2 : compression des vapeurs de FF qui passent d'un niveau de basse • Pression (BP) à un niveau de haute pression (HP)
- Entre 2 et 3 : désurchauffe des vapeurs de FF HP
- Entre 3 et 4 : condensation des vapeurs de FF HP qui deviennent du FF liquide HP
- Entre 4 et 5 : sous refroidissement du FF liquide HP
- Entre 5 et 6 : détente du FF liquide HP qui devient un mélange de liquide BP et d'une faible quantité de vapeurs BP
- Entre 6 et 7 : évaporation du FF liquide BP qui devient des vapeurs de FF BP
- Entre 7 et 1 : surchauffe des vapeurs de FF BP

Les différentes évolutions du FF de la machine frigorifique sont représentées sur le diagramme enthalpique, il s'agit du cycle frigorifique de la machine communément appelée cycle de référence ou cycle pratique par les frigoristes.[10]

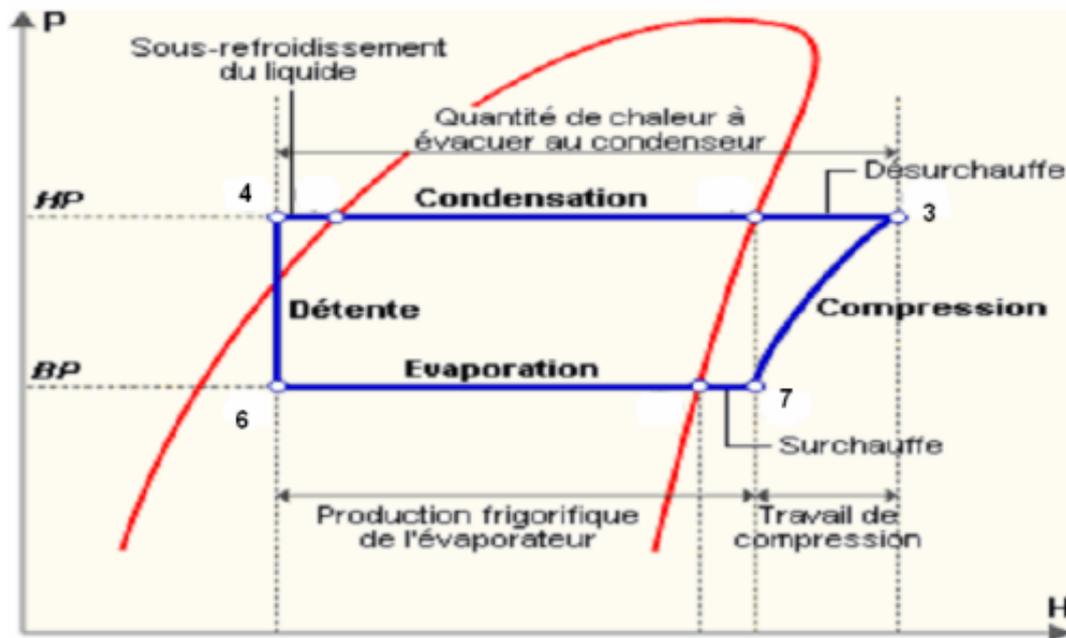


Figure 3:Cycle frigorifique de référence.[10]

Le cycle frigorifique de référence (cycle pratique) est un compromis qui permet d'effectuer l'étude et le dimensionnement des machines frigorifiques avec une précision acceptable.[10]

En pratique, ce cycle est tracé sur les bases suivantes :

- Compression isentropique
- Détente iso enthalpie
- Surchauffe de 5°C (pour étude de conception) ou SH mesurée
- Sous-refroidissement de 5°C (pour étude de conception) ou SR mesuré

Le cycle frigorifique de référence (cycle pratique) permet de s'affranchir des cycles frigorifiques proposés par la théorie de la thermodynamique appliquée à savoir :

- Le cycle théorique.
- Le cycle parfait.
- Le cycle réel.

Néanmoins, ces cycles présentent un grand intérêt pour l'étude théorique des systèmes Thermodynamiques.

### 5.2/-Le cycle théorique

Ce cycle qui est représenté par le diagramme 1-2-3-4 (figure 2) est établi sur la base Suivante :

- Pas de perte de charges dans les tubulures
- Pas de SH au niveau de l'évaporateur
- Pas de SR au niveau du condenseur.
- Les transformations thermodynamiques subies par le FF à l'intérieur de la machine sont les Suivantes :
- Compression isentropique du FF vapeur entre les points 1 et 2
- Condensation iso thermique entre les points 2 et 3
- Détente iso enthalpie entre les points 3 et 4
- Évaporation iso thermique entre les points 4 et 1. [10]

### 5.3/- Le cycle parfait

Ce cycle qui est représenté par le diagramme 1'-2'-3'-4' (cf. figure 2) est établi sur la base Suivante :

- Pas de perte de charges dans les tubulures
- SH au niveau de l'évaporateur
- SR au niveau du condenseur
- Les transformations thermodynamiques subies par le FF à l'intérieur de la machine sont les Suivantes :
- Compression isentropique entre les points 1' et 2'
- Condensation iso thermique entre les points 2' et 3'
- SR du FF à la sortie du condenseur entre les points 3 et 3'
- Détente iso enthalpie entre les points 3' et 4'
- Évaporation iso thermique entre les points 4' et 1.
- SH du FF à la sortie de l'évaporateur entre les points 1 et 1'. [10]

### 5.4/- Le cycle réel

Ce cycle qui est représenté par le diagramme 1''-2'''-3'-4' (cf. figure 2) est établi sur la base suivante :

- La compression est poly tropique, le point 1' se translate au point 1'' (l'intégralité du travail de compression n'est pas transmise au FF à cause des échanges thermiques entre le système et le milieu extérieur)
- Le point 2' devient 2''' pour tenir compte :
- De l'énergie perdue (notion de rendement indiqué)
- Des pertes mécaniques
- Des PDC au refoulement du compresseur
- En réalité aucun des trois cycles précités ne sont véritablement utilisés par les frigoristes qui Utilise le cycle frigorifique de référence.[10]

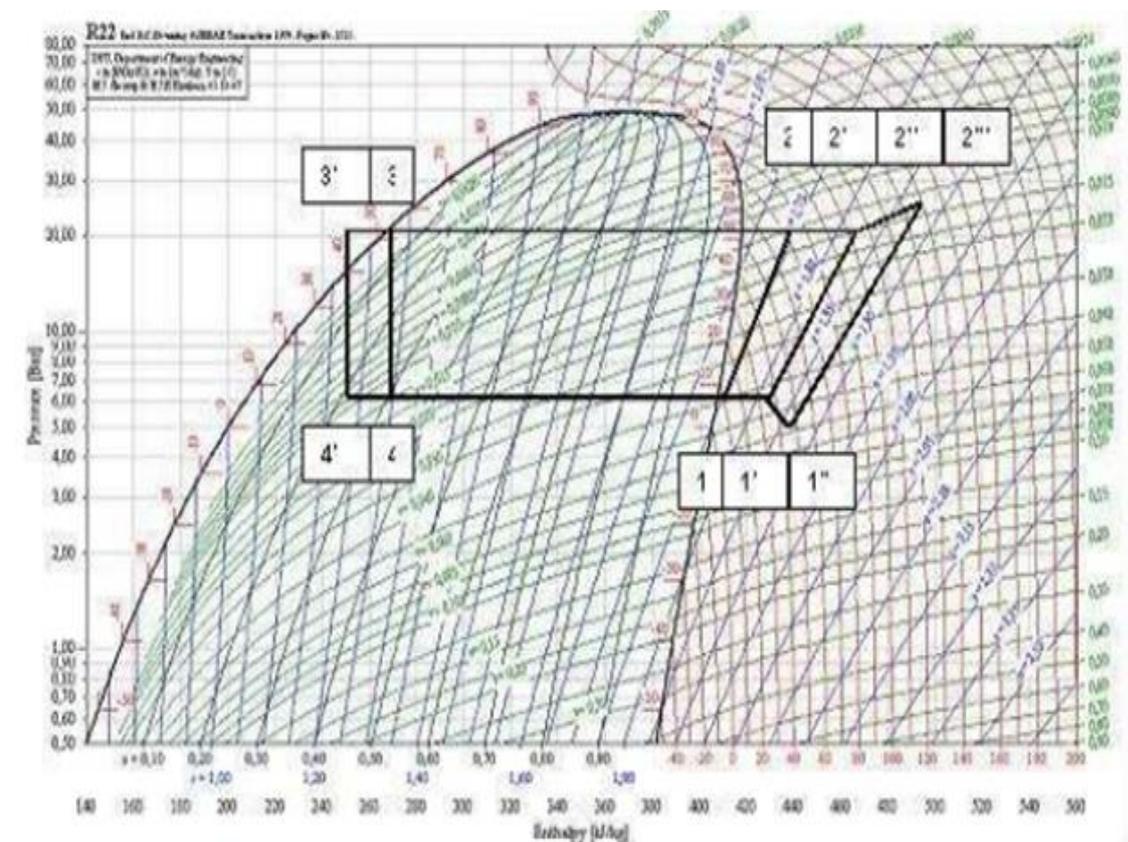


Figure 4:les cycles frigorifiques. [10]

## 6-Classification des systèmes frigorifiques

### 6.1/- Classification selon l'énergie Absorbée

Selon l'énergie consommée on distingue deux grandes catégories :

#### 6.1.1/-Systèmes frigorifiques consommant de l'énergie mécanique (ou électrique)

Dans ce type des systèmes frigorifiques la consommation de l'énergie mécanique ou électrique est essentiel afin d'effectuer un transfert d'énergie calorifique d'un niveau de Température inférieure  $T_f$  vers un niveau de température supérieure  $T_c$ , système dit au moins di-therme.[11]

Parmi eux deux familles se détachent :

Les systèmes à compression de vapeur liquéfiable

Les systèmes utilisant les cycles à gaz

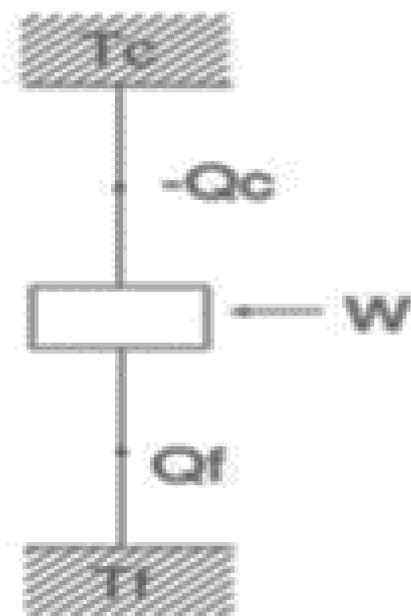


Figure 5:les cycles d'une machine di-therme.[11]

#### 6.1.2/-Machines frigorifiques consommant de l'énergie calorifique

Le principe de fonctionnement de ces systèmes consiste à extraire ou fournir une quantité de chaleur en consommant de l'énergie calorifique. Outre la source froide à  $T_f$  et la source chaude à  $T_c$  ces systèmes mettent en œuvre une troisième source de chaleur intermédiaire  $T_i$ , on a donc à faire à des systèmes d'au moins trithermes.[11]

-Les systèmes à absorption

-les systèmes à adsorption

-les systèmes à éjection

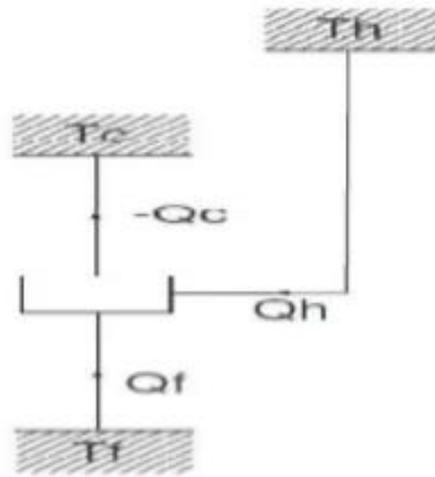


Figure 6: Cycle d'une machine tri-therme [11].

## 7- Classification selon le mode de fonctionnement

### 7.1/- 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.

Ainsi donc, pour extraire de la chaleur d'une source froide le fluide frigorigène subit en contact d'une source, un phénomène endothermique (qui consomme de la chaleur). De la même manière, pour extraire la chaleur stockée par le fluide frigorigène afin de la restituer à

Phénomène endothermique	Phénomène exothermique
Fusion d'un solide	Solidification d'un liquide
Vaporisation d'un liquide	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 d'un gaz ou d'une Vapeur (dans un liquide (absorption), dans un solide (adsorption))
Détente d'un gaz comprimé	Compression d'un gaz

Tableau 1: Quelques phénomènes du transfert thermique [11]

La source chaude un phénomène exothermique (qui dégage de la chaleur) est utilisée. Dans la majeure partie des cas, une série de transformations qui ramène, périodiquement, le frigorigène dans son état initial, est décrite. Le cycle de fonctionnement décrit et appelé cycle frigorifique.[11]

### **7.2/- 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 permette de distinguer les différents types des machines suivantes :[11]

#### **7.2.1/-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.

#### **7.2.2/-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.

#### **7.2.3/-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.[11]

- 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.

### 7.2.4/-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.[11]

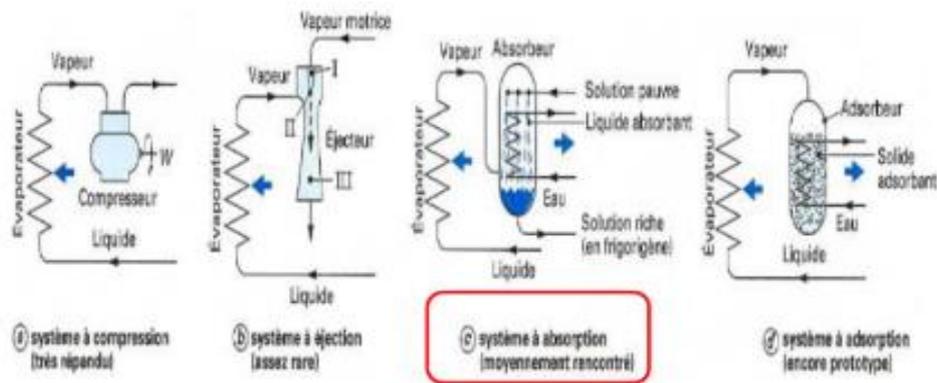


Figure 7:Types des machines frigorifiques utilisant la vaporisation d'un frigorigène [11].

## 8-Théorie du froid

### 8.1/- Quelques définitions d'éléments de physiques

#### 8.1.1/-La chaleur

La chaleur est une forme d'énergie (énergie de mouvement des molécules) qui va d'un point chaud (température plus élevée) vers un point froid (température moins élevée).

C'est la sensation perçue par nos organes de sens lorsque nous sommes placés devant un corps incandescent par exemple.

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

La chaleur échangée par deux corps en contact est :  $Q = mc (T \text{ finale} - T \text{ initiale})$  pour chaque corps.

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

c : chaleur massique du corps en  $J/^{\circ}K \text{ kg}$  m : masse du corps en kg.

#### 8.1.2/- La chaleur sensible

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

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

$$Q = mc (T \text{ finale} - T \text{ initiale})$$

Q : la quantité de chaleur pour chauffer l'eau en kJ

c : la chaleur thermique massique de l'eau en kJ/Kg. K

T finale : la température finale de l'eau en °C

T initiale : la température initiale de l'eau en °C

### 8.1.3/-La chaleur latente

La chaleur latente change l'état physique d'une matière. Par opposition à la chaleur sensible qui modifie la température d'une matière. Quelle que soit la matière, on parle de :

-chaleur de liquéfaction : chaleur nécessaire pour passer de l'état solide à l'état liquide, chaleur de vaporisation : chaleur nécessaire pour passer de l'état liquide à l'état gazeux. Et inversement, chaleur de condensation : chaleur nécessaire pour passer de l'état gazeux à l'état liquide, chaleur de solidification : chaleur nécessaire pour passer de l'état liquide à l'état solide.

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

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

$$Q = m.l$$

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

m : masse du corps en kg

l : la chaleur latente en J/kg

### 8.1.4/-La température

On appelle température la grandeur physique qui mesure le degré de chaleur d'un corps ou d'un milieu.

Lorsque deux corps sont placés dans une enceinte adiabatique, le corps le plus chaud cède de la chaleur au corps le plus froid, jusqu'à ce que les deux corps aient la même température. On dit alors qu'on a atteint l'équilibre thermique.

La température est une propriété thermodynamique du corps et mesure l'agitation microscopique de la matière.

Selon la théorie cinétique, la température d'un corps est fonction de l'énergie cinétique moyenne de translation de ses molécules.

L'énergie cinétique d'un corps est nulle à une température appelée zéro absolu.

Les températures dans le S.I. sont exprimées en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) mais dans la littérature, on rencontre les degrés Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) et les degrés Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ).

### **8.1.5/- L'enthalpie**

L'enthalpie représente une énergie contenue dans un fluide ou plus exactement l'énergie totale gagnée ou perdue par un fluide au cours du cycle frigorifique.

Elle s'exprime en kJ/kg (Kilojoule/Kilogramme de fluide), sur le diagramme on retrouve l'échelle des enthalpies en abscisse.

### **8.1.6/- La puissance**

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

### **8.1.7/-La pression**

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

L'unité de pression couramment utilisée par les frigoristes est le Bar et il faut distinguer : Les appareils de mesure des pressions (appelés manomètres) sur les systèmes frigorifiques qui sont gradués généralement en pression relative (par rapport à la pression atmosphérique)

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

### **8.1.8/-Sous-refroidissement [12]**

Le sous-refroidissement donne une indication sur le niveau du remplissage en fluide d'une installation, et représente la différence entre la température de condensation lue au manomètre HP (relation : pression, température) et la température mesurée à la sortie du condenseur.

Généralement la valeur du sous-refroidissement est comprise entre 4 et 7 C°

### **8.1.9/-Surchauffement [12]**

La surchauffe\* (fonctionnelle) est un renseignement important sur les conditions de fonctionnement d'un évaporateur.

Elle représente une augmentation de la température des vapeurs aspirées à la fin de l'évaporateur sans augmentation de la pression, c'est aussi ce qui détermine la bonne alimentation en fluide de l'évaporateur.

La surchauffe représente la différence entre la température mesurée avec un thermomètre au bulbe du détendeur et la température d'évaporation lue au manomètre BP, (relations : pression, température).

### **8.1.10/-Coefficient de performance (COP) [13]**

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

### **8.1.11/- ODP (ozone depletion potential) [23]**

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

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

### **8.1.12/-GWP (Global warning potentiel) [23]**

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

### **8.1.13/- Le fluide frigorigène [23]**

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

condensation à haute température et haute pression. Le rôle du fluide frigorigène est d'absorber la chaleur dans l'évaporateur et de la restituer dans le condenseur.

Les fluides frigorigènes sont des substances générées dans les circuits du système.

Grâce aux phénomènes endothermiques et exothermiques qui résultent des conversions qu'il subit, il permet à la chaleur d'être absorbée par les sources froides et restituée par les sources chaudes. Pour les substances qui agissent comme réfrigérants,

Il faut que :

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

## **9-Chambre froide**

### **9.1/-Définition**

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.

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.).

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. [12]

## 10-Le circuit frigorifique

Une machine frigorifique est une machine qui sert à transporter de la chaleur d'un point à un autre. Le principe consiste à prendre de la chaleur dans un circuit d'utilisation, à l'intérieur d'une pièce par exemple, et à la restituer (l'évacuer) dans un circuit de refroidissement (extérieur de l'habitation). [12]

Le transport de l'énergie est assuré par un compresseur, dont l'énergie propre doit être elle aussi dissipée (évacuée) dans le circuit de refroidissement (Condenseur).

Le fluide frigorigène produit du froid en s'évaporant dans l'évaporateur, (il enlève de la chaleur : chaleur latente de vaporisation). Il doit pouvoir s'évaporer et se condenser facilement (thermodynamique) [12]

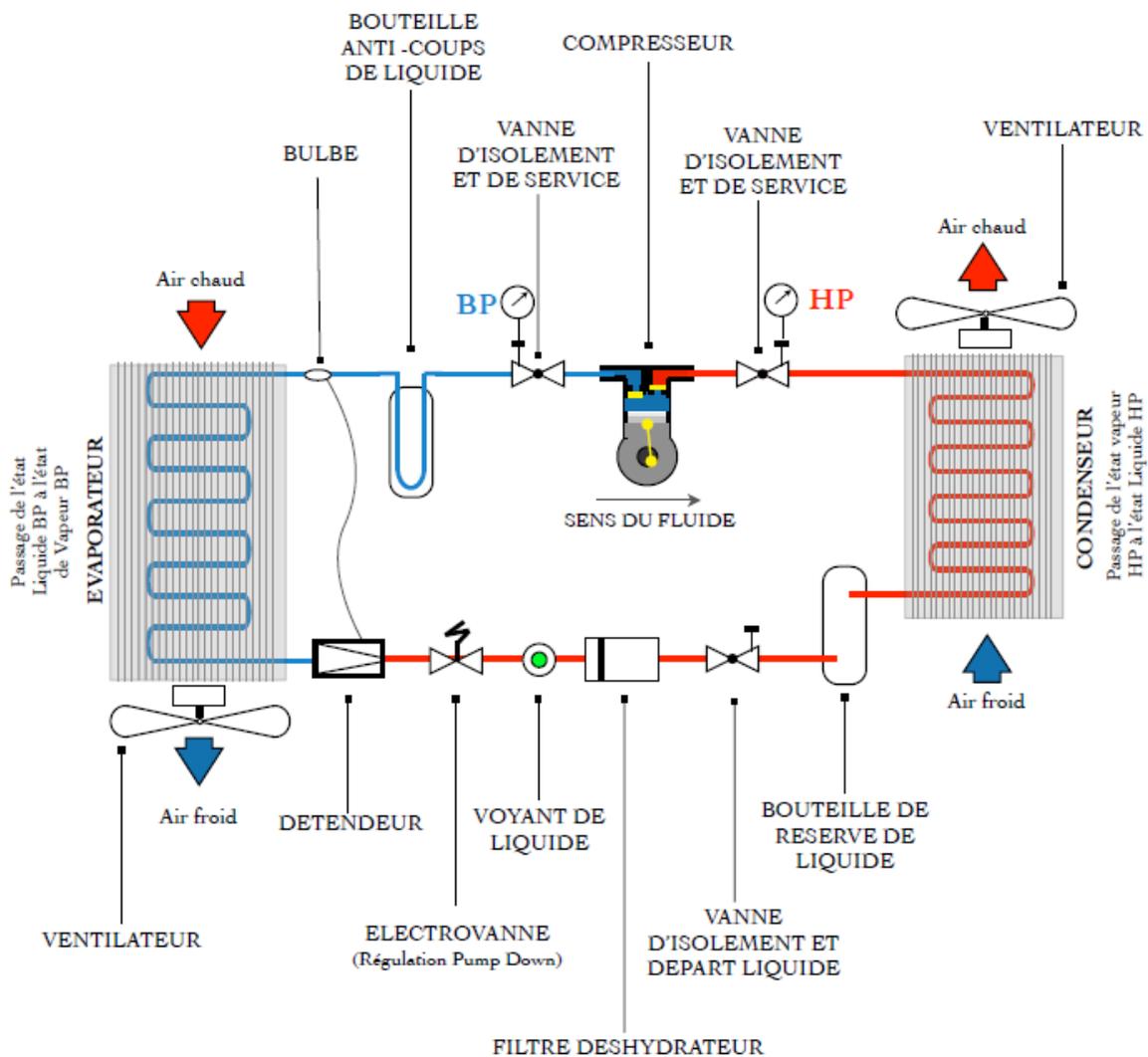


Figure 8: Les composants du circuit frigorifique [12].

BP : Basse Pression

HP : Haute Pression

- Sens du fluide Les états successifs du fluide frigorigène :

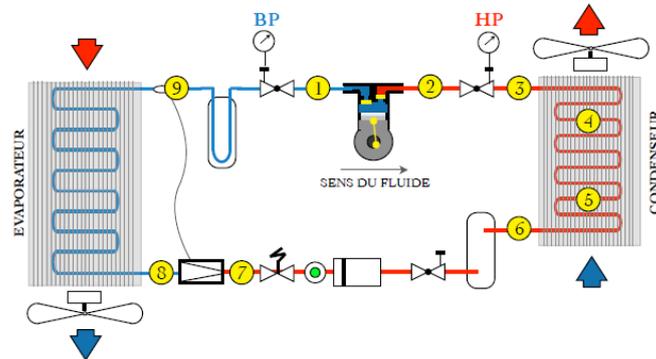


Figure 9: Les états du fluide frigorigène [12].

- 1 - Température BP entrée du compresseur (Etat du fluide : Vapeur BP)
- 2 - Température HP sortie du compresseur (Etat du fluide : Vapeur HP)
- 3 - Température HP entrée du condenseur (Etat du fluide : Vapeur HP) Zone de désurchauffe de 3 vers 4 (Etat du fluide : Vapeur HP) Zone de condensation de 4 vers 5 (Etat du fluide : Passage de l'état vapeur à l'état liquide HP)
- 6 - Température sortie de condenseur (Etat du fluide : Liquide HP)
- 7 - Température entrée détendeur (Etat du fluide : Liquide HP)
- 8 - Température sortie détendeur (Etat du fluide : Liquide BP) Zone d'évaporation de 8 vers 9 (Etat du fluide : Passage de l'état liquide à l'état vapeur BP)
- 9 - Température sortie évaporateur, (Etat du fluide : Vapeur BP).

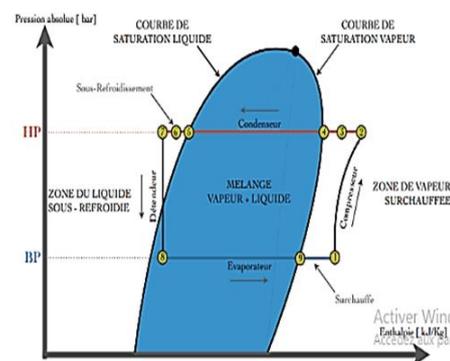


Figure 10: Les états successifs du fluide frigorigène [12].

## 11- Etude circuit frigorifique a compression de vapeur

Le réfrigérateur à compression de vapeur est basé sur la condensation de vapeur d'un fluide réfrigérant suite à une compression, et son évaporation suite à une détente. C'est le procédé le plus répandu pour la production du froid. Ce principe est inverse à celui employé pour les pompes à chaleur.[13]

Ce procédé est à distinguer du turbo réfrigérateur, dans lequel un gaz est comprimé, refroidi à température ambiante, puis détendu dans une turbine. Cet autre procédé ne fait pas intervenir de changement de phase. On peut noter sa ressemblance avec le Cycle de Brayton de la turbine à gaz.[13]

Tout système frigorifique à compression comprend au moins 6 éléments :

Compresseur, condenseur, détendeur, évaporateur, réfrigérant ou fluide frigorigène et enfin, l'huile du compresseur.

Ces 6 éléments sont le strict minimum pour assurer le fonctionnement du système frigorifique. Aussi un circuit frigorifique doit être parfaitement anhydre. En effet le fluor contenu dans les principaux réfrigérants actuels risquerait de se dissoudre dans l'eau et ainsi de former de l'acide. L'eau est donc l'ennemi public n°1 du circuit frigorifique.[13]

Comme dessiné sur ce schéma, le compresseur met en circulation le réfrigérant. Il sort de l'orifice HP (haute pression) du compresseur à l'état gazeux et très chaud. Il traverse alors le côté HP en commençant par le condenseur.

Lors de son passage dans le condenseur, le réfrigérant perd beaucoup de calories et se condense. On observe donc un changement d'état. La tuyauterie située entre le condenseur et le détendeur s'appelle à juste titre : ligne liquide.

Le détendeur est donc alimenté en réfrigérant à l'état liquide. Celui-ci crée une restriction c'est-à-dire une chute de pression du réfrigérant pour alimenter le côté BP (basse pression). À la sortie du détendeur, on observe une chute de pression importante ainsi qu'une chute de température du réfrigérant. Le réfrigérant est alors en mélange c'est-à-dire 15 % en gaz et 85 % en liquide. (Ces valeurs de pourcentage sont données à titre d'exemple et à prendre avec précaution.[13]

L'important est de retenir qu'ici nous sommes en mélange).

Le fluide en mélange traverse l'évaporateur. Dans ce dernier, on observe à nouveau un changement d'état. En effet la partie liquide du fluide rentre en ébullition et absorbe les calories qui sont au voisinage de l'évaporateur.

Le fluide à l'état gazeux est alors aspiré par l'orifice BP du compresseur et le cycle se renouvelle.

Du refoulement du compresseur au détendeur, la pression HP est identique (aux pertes de charges près). Seule la température varie.

Du détendeur à l'aspiration du compresseur, la pression BP est identique (aux pertes de charges près). Seule la température varie.[13]

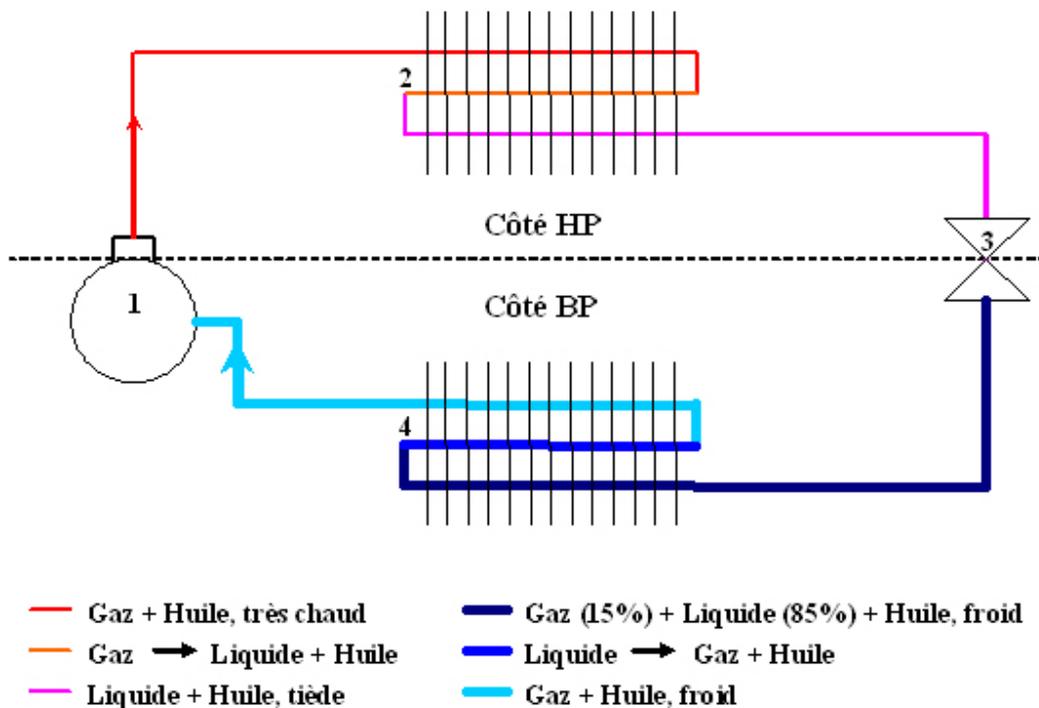


Figure 11:Circuit frigorifique de base.[13]

## 12- Les composants du circuit frigorifique

Le principe de fabrication de froid repose sur l'évaporation d'un liquide pur appelé fluide frigorigène.[14]

Une installation de base se compose alors des quatre organes principaux (figure 11) :

- 1-Le compresseur,
- 2-Le condenseur
- 3-Le détendeur

4-L'évaporateur.

Le rôle de chaque organe :

### **12.1/-Compresseur**

Le compresseur est indispensable. Sans lui, le fonctionnement de la chambre froide est impossible ; le compresseur aspire le gaz à basse pression et à basse température.

### **12.2/-Condenseur**

Les gaz chauds à haute pression et haute température venant du compresseur se dirigent vers le condenseur, qui est un échangeur qui va permettre aux gaz de se condenser par échange avec un fluide extérieur (l'eau, l'air.) à température et pression constante, c'est la phase de condensation ; la vapeur se transforme en liquide.

### **12.3/-Détendeur**

Le liquide formé dans le condenseur est détendu par abaissement brusque de la pression au passage du détendeur

### **12.4/-Évaporateur**

L'évaporateur est lui aussi un échangeur de chaleur, le fluide liquide provenant du détendeur va entrer en ébullition dans l'évaporateur en absorbant de la chaleur au fluide extérieur, (l'eau, l'air...) C'est la phase d'évaporation. Le gaz est ensuite aspiré par le compresseur pour un nouveau cycle.[14]

## **13-Les composants annex**

### **13.1/-Le filtre déshydrateur**

Le rôle du filtre déshydrateur est de filtrer le fluide frigorigène de toute ses impuretés, comme les copeaux de cuivre, la limaille, les boues et notamment l'humidité du circuit en cas de mauvaise manipulation. Il se place sur la ligne liquide, entre le condenseur et le détendeur.[15]

### **13.2/-Le voyant liquide**

Il permet de vérifier le passage du fluide et son état qui est normalement 100 % liquide. Certains voyants sont aussi hygroscopiques, c'est-à-dire qu'ils indiquent la présence ou non d'humidité dans le circuit. De ce fait, le voyant liquide, se place directement à la sortie du déshydrateur afin de contrôler son fonctionnement. [15]

### **13.3/-La bouteille réservoir de liquide**

Lorsqu'un circuit frigorifique possède un détendeur régulant le débit de fluide frigorigène (tous sauf le capillaire), comme par exemple le détendeur électronique d'un climatiseur, il est essentiel de pouvoir stocker le fluide non utilisé, c'est le rôle de la bouteille réservoir de liquide. [15]

Elle se place directement à la sortie du condenseur, juste avant le déshydrateur. Elle permet aussi de stocker le fluide en cas d'intervention sur le circuit. [15]

### **13.4/-Les pressostats**

Les pressostats jouent un rôle essentiel dans la régulation du circuit frigorifique. Un pressostat haute pression (HP) et une basse pression (BP) sont notamment utilisés. [15]

Le pressostat HP assure un rôle de sécurité en coupant le compresseur en cas de montée anormale de la pression pouvant devenir dangereuse. On parle de pressostat HP de sécurité. Il est possible également d'avoir un pressostat HP de régulation pour réguler les ventilateurs du condenseur. [15]

Côté BP, le pressostat permettra d'empêcher la pression BP de descendre en dessous de la pression atmosphérique. Si cela arrive, en cas d'imperfection de l'étanchéité, de l'air entrerait dans le circuit. L'air est nuisible pour le fluide frigorigène. [15]

### **13.5/-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 2 positions, ouvertes ou fermées. Dans la réfrigération, ces vannes peuvent avoir 3 positions. [15]

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, contrôler les pressions de fonctionnement. [15]

## **14- la nécessité d'utilisation des chambres froides**

Le rôle principal d'une chambre froide est de maintenir la chaîne du froid des denrées, jusqu'à ce qu'elles soient consommées ou utilisées. Dans les grands restaurants, les

cantines scolaires, les restaurants self-service, ainsi que dans tout type de cuisine professionnelle, une chambre froide sert à stocker de la nourriture et d'autres produits.

Dans le domaine médical, une chambre froide est utilisée pour également respecter la chaîne du froid et conserver les médicaments cryogéniques, et d'autres produits pharmaceutiques. La croissance des bactéries et les interactions chimiques encombrantes seront stoppées par le fonctionnement d'une chambre froide.[15]



Figure 12:Chambre froide [15].

#### 14.1/- chambre froide positive

C'est une chambre froide qui produit une température de conservation de plus de 0 °C. Ce type de chambre frigorifique peut généralement atteindre 3 à 6 °C. La température de conservation peut généralement être choisie en fonction de la conservation. Disposant des portes en vitre, la chambre froide peut à la fois présenter et conserver les produits alimentaires en les gardant au frais et à portée de main. Les chambres froides positives sont utilisées dans la cuisine professionnelle, mais aussi dans les boucheries, dans les boulangeries et les pâtisseries. Avec une chambre froide positive, les fleuristes pourront conserver leurs fleurs. [15]



Figure 13:Chambre froide positive [15]

### 14.2/- chambre froide négative

Une chambre froide négative quant à elle produit une température de moins de 0 °C. Cette température négative peut généralement atteindre -18 °C. Une chambre froide négative est particulièrement idéale pour congeler les aliments. Le froid négatif permet à l'eau contenue dans les aliments de se cristalliser. Les produits seront ainsi congelés. Dans une chambre froide négative, les denrées alimentaires seront conservées pendant une plus longue durée. Les chambres froides négatives sont aussi utilisées dans les cuisines professionnelles des restaurants, bouchers, traiteurs, et autres.[15]



Figure 14:Chambre froide négative [15].

### 15/-Comment respecter les normes d'hygiène avec une chambre froide ?

Les normes sanitaires et d'hygiène, dans le domaine de la restauration et du secteur pharmaceutique, doivent toujours être respectées. Une chambre froide doit posséder un espace propre et facile à entretenir.

Pour que votre installation frigorifique respecte les normes d'hygiène, l'espace doit être entretenu de manière à ne causer aucun risque de contamination des aliments. Vous devez choisir un modèle qui permet de mettre en place les normes d'hygiène. La désinfection et le nettoyage d'une chambre froide doivent se réaliser de manière simple. Pour cela, votre installation doit être dotée de revêtements de sol et de mur faciles à nettoyer. Les substances toxiques ne doivent pas entrer en contact avec les produits stockés dans cet appareil de réfrigération. Par ailleurs, un espace de stockage de déchets sera indispensable dans une chambre froide. En effet, une chambre froide doit inclure un environnement entièrement propre pour prévenir la pollution et réduire l'accumulation des pourritures.[15]

La conception d'une chambre froide doit respecter la norme AFNOR NF P75-401 - DTU 45.1 relative aux marchés de travaux de bâtiment pour l'isolation thermique des bâtiments frigorifiques et des locaux à ambiance régulée.[16]

Cette norme aborde les obligations en termes :

- d'isolation thermique ;
- d'hygiène ;
- de matériaux à utiliser (pour le sol, les parois et plafonds, etc.) ;

### 15.1/-Chambre froide et hygiène

Dans le cadre de la conservation d'aliments, les chambres froides doivent répondre à des normes de santé et d'hygiène strictes. Les surfaces de la chambre froide doivent être lisses et lavables.[17]

Les matériaux utilisés ne doivent pas dégager d'odeur ou de produits volatils incompatibles avec les produits entreposés ou transformés.[17]

Voici quelques bonnes pratiques d'hygiène : Avoir des locaux propres et entretenus pour ne pas entraîner de risque de contamination des aliments.[17]

Posséder des locaux permettant la mise en œuvre des pratiques d'hygiène suivantes : éviter la contamination croisée ; nettoyer et/ou désinfecter de manière efficace ; éviter le contact avec des substances toxiques ; offrir des conditions de température permettant d'effectuer de manière hygiénique les opérations visées ; aérer, ventiler, éclairer convenablement ; se doter de moyens d'évacuation des eaux résiduaires et eaux de lavage ; disposer d'aires de stockage des déchets convenablement gérées ; éviter l'encrassement, le contact avec les matériaux toxiques, le déversement de particules.[17]

Offrir des conditions de température stables.

Avoir des revêtements de sol et des surfaces murales faciles à nettoyer (matériaux étanches, non absorbants, lavables et non toxiques, surfaces lisses).[17]

Construire des plafonds, faux plafonds et autres de manière à empêcher l'encrassement, réduire la condensation et les moisissures.[17]



Figure 15:Chambre froide et hygiène. [17].

## 16/- Analyse thermodynamique du cycle frigorifique

### 16.1/-Premier principe

Le premier principe de la thermodynamique stipule que lors de toutes transformations, il y a conservation de l'énergie. Dans le cas des systèmes thermodynamiques fermés, il s'énonce de la manière suivante : « Au cours d'une transformation quelconque d'un système fermé, la variation de son énergie est égale à la quantité d'énergie échangée avec le milieu extérieur, sous forme de chaleur (Q) et sous forme de travail(W). » Dans un système cohérent d'unités, ce premier principe se traduit par la relation :  $W$ . [18]

### 16.2/-Deuxième principe

Le premier principe met en évidence la conservation des énergies mises en jeu dans un système. Le second principe permet de connaître l'évolution d'un système. En effet, on peut transformer en totalité du travail en chaleur, mais on ne peut pas toujours transformer de la chaleur en travail.[18]

Lorsqu'un système évolue de manière cyclique entre 2 sources de chaleur, on caractérise une source froide à la température  $T_1$  et une source chaude à la température  $T_2$ . [18]

Les appellations « source froide » et « source chaude » sont des appellations relatives à un schéma déterminé. La température de la source chaude est toujours supérieure à la source froide.[18]

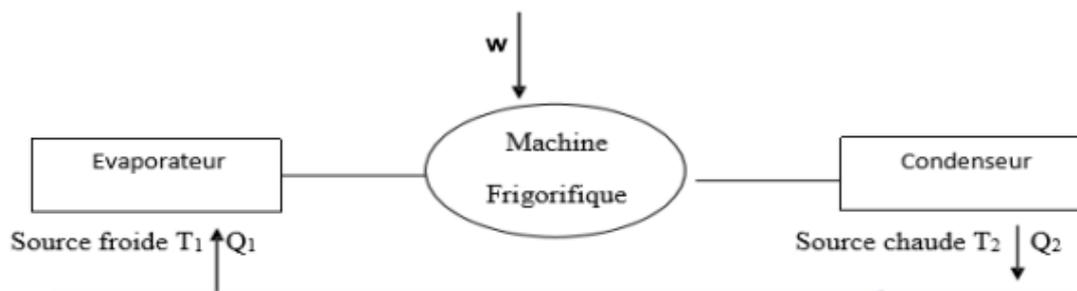


Figure 16:Machine frigorifique (transfert de chaleur d'une source froide à une source chaude) [18].

Le système reçoit de la chaleur ( $Q_1$ ) de la source froide et du travail ( $W$ ). Il restitue de la chaleur ( $Q_2$ ) à la source chaude. En application du premier principe, on peut écrire :

$$W + Q_1 + Q_2 = 0$$

Ce qui est reçu est compté positivement, ce qui est cédé négativement. Soit en valeur absolue :

$Q_2 = Q_1 + W$  chaleur cédée.

$Q_1 = Q_2 - W$  chaleur prélevée.

## 17/-Avantages et inconvénients d'une chambre froide

### 17.1/-Avantages

Avoir une chambre froide rime avec plusieurs avantages. En effet, pendant une courte ou une longue période, une chambre froide peut stocker une grande quantité de produits alimentaires ou pharmaceutiques. Avec sa taille et l'étendue de votre espace, elle peut être personnalisée. Contrairement à d'autres appareils frigorifiques, une chambre froide économise de l'énergie, en conférant une température de conservation constante à tous les produits conservés. Grâce à l'évolution de la technologie, cet appareil de réfrigération est actuellement représenté dans plusieurs marques, différents modèles et modes de fonctionnement, que ce soit à une température froide négative ou positive.[19]

En pharmacie et dans le domaine hospitalier ou similaire, une chambre froide peut notamment stocker divers médicaments ; des échantillons d'analyse ; des poches de sang ; entres autres. Des produits cosmétiques peuvent également être stockés dans une chambre froide. De plus, les produits étant principalement constitués d'eau y seront conservés efficacement. Le froid produit par la chambre froide empêche le développement de micro-organismes et de bactéries.[19]

- Le stockage à froid de type refroidissement direct a une structure simple, un taux de défaillance relativement faible et un faible coût entraînant un prix bas [20]
- Il a un bon effet de refroidissement et est relativement plus économie d'énergie et économie d'électricité.[20]
- Convection naturelle dans l'espace confiné, l'humidité de l'air est relativement élevée et l'humidité dans la nourriture n'est pas facile à perdre. [20]

Quatrième, la température se volatilise lentement. Si L'unité échoue en peu de temps, la température initiale peut être maintenue dans l'entrepôt pendant une courte période et l'impact sur les marchandises est Petit. [20]

- Le stockage froid refroidi à l'air ne constitue essentiellement pas de givre sur la paroi interne du réfrigérateur, ce qui évite le problème du manuel Décongélation. L'utilisateur sauve l'inquiétude et l'effort. Par conséquent, il est accueilli par beaucoup consommateurs. [20]

- L'air réfrigérant est forcé de circuler par le ventilateur, la vitesse de refroidissement du stockage à froid est plus rapide et la distribution de la climatisation est plus équilibrée. [20]
- La réfrigération est rapide et le refroidisseur d'air peut rapidement réfrigérer, de sorte que la température de l'entrepôt puisse atteindre rapidement la température requise par les marchandises. [20]

Quatrièmement, le prix de la rangée d'aluminium de refroidissement relativement direct est moins cher. [20]

### 17.2/-inconvenient

Une chambre froide est soumise à de nombreuses contraintes. Consommation d'énergie, régulation de la température, conservation des produits, entretien du système... Une surveillance constante est également indispensable pour la protéger de certains phénomènes naturels, notamment l'apparition du givre. [20]

- Le problème du glaçage entraîne un dégivrage manuellement, qui prend beaucoup de temps et de laborieusement, et n'est pas accueilli. [20]
- Le problème du glaçage affectera sérieusement l'absorption de chaleur et la réfrigération de l'évaporateur et l'efficacité de la réfrigération sera considérablement réduite. [20]
- La convection naturelle rend la distribution de stockage à froid inégal. Il y a des taches mortes dans le stockage froid, la nourriture est gelée à différents degrés et l'effet de refroidissement est Pauvre. [20]

Quatrièmement, la réfrigération est légèrement plus lente, parce que Selon les caractéristiques du pipeline, la vitesse de réfrigération est légèrement plus lente ; Cinquièmement, l'humidité de l'air est relativement élevée, ce qui entraînera facilement la nourriture dans le congélateur de coller et de geler ensemble, et il n'est pas facile de se séparer. [20]

- La structure compliquée du stockage à froid refroidi à l'air provoque un taux d'échec relativement élevé et le coût augmente également en conséquence. [20]
- Afin de réaliser le flux de circulation d'air froid, le ventilateur a une charge de travail lourde et le dégivrage automatique augmentera également la consommation d'énergie. La consommation d'énergie est donc relativement grande. [20]
- Concentrez-vous sur le froid et le gel rapide est rapide. Si L'unité a une défaillance à court terme ou la sélection des matériaux isolants est déraisonnable, le froid à froid

sera plus rapide. Par conséquent, il doit y avoir certaines exigences pour le temps pour après-vente personnel de maintenance à venir à la porte. [20]

Quatrièmement, la nourriture dans l'entrepôt est facile à sécher et à consommer, et les marchandises sans emballage ni tuyère sont faciles à sécher et à perdre Humidité. [20]

# **Chapitre III :**

*Etudes des  
charges  
thermiques  
autour d'une  
chambre froide*

### 1/- Introduction

Avant de commencer à procéder au dimensionnement des composants d'une installation frigorifique, il est nécessaire dans un premier temps :

- ✓ De connaître très exactement la température souhaitée.
- ✓ De préciser les modalités et contraintes de réalisation de l'installation.
- ✓ Puis de définir un concept d'installation.

Alors, on doit procéder à la détermination des charges techniques de la chambre froide, ces charges thermiques correspondant à la production frigorifique nécessaire pour en assurer la compensation.

### 2/- Conditions déterminantes

Température ambiante extérieur ( $T_e$ )=24°C.

Température intérieure de la chambre froide ( $t_i$ )=5°C.

Humidité relative  $P=75\%$ .

Température d'introduction des denrées=15°C.

Temps de fonctionnement du compresseur, (ou de l'installation) =16h/jour.

Dimensions intérieures de la chambre froide :

Largeur = 4,2m.

Profondeur = 12m.

Hauteur = 4m

Surface totale intérieur,  $S = 230,4\text{m}^2$  calculé précisément par la méthode de :

$$S=2*[1*(L-h) *h+L*h].$$

Epaisseur d'isolant =12cm.

Volume brut intérieur étant de 201,6m<sup>3</sup>.

Chaleur massique du produit  $C_p=3,64\text{KJ/Kg}\cdot\text{K}$ . (à  $T_s=10^\circ\text{C}$ ).

La quantité de chaleur pour  $m=1\text{ Kg}$  et  $T_s=10^\circ\text{C}$  égale à  $36.400\text{KJ}$ .

Avant de commencer à procéder au dimensionnement des composants d'une installation frigorifique, encore est-il nécessaire d'un premier lieu connaître très exactement les données précédemment indiqués là-dessus, et aussi préciser les modalités et contraintes de réalisation de l'installation.

### 3/- Présentation d'une chambre froide

Notre chambre froide est conçue et élaborée dans le but d'y stocker les produits laitiers fabriqués dans l'usine.

Elle assure la conservation en mode « réfrigération » sous une température intérieure variant de  $2^\circ\text{C}$  à  $5^\circ\text{C}$ .

Cette chambre froide est construite en dur d'une manière purement traditionnelle, c'est-à-dire qu'elle comporte :

- ✓ Un sol en béton armé.
- ✓ Quatre (04) parois verticales en brique doublée, avec une isolation en polystyrène expansé  $2*6\text{cm}$ , flinkot, grillage, nid d'abeille et mortier de ciment.
- ✓ Un plafond en hourdis (dalle) avec une isolation et un dressage au ciment.
- ✓ Porte isotherme  $2200*1200\text{mm}$  en double parois de tôle fine en alliage de Zinc avec isolation injectée par mousse polyuréthane de densité  $D=45\text{Kg/m}^3$ .

Cette chambre est de  $200\text{m}^3$  d'environ, équipée d'un évaporateur plafonnier à basse température avec le détendeur incorporé. Cet évaporateur est alimenté par un compresseur situé à l'extérieur de la chambre froide.

Le tout est généré par un groupe électrique et en plus un condenseur à air.

**a- Dimensions**

Dimensions	Largeur (m)	Hauteur (m)	Profondeur (m)
Valeurs	4,2	4	12

Tableau 01 : dimensions de la chambre froide

La température d'une chambre froide résulte de l'équilibre entre deux flux de chaleur ;

Un apporté par l'installation frigorifique.

Le deuxième reçu de l'extérieur à travers les murs, le plafond, le plancher et les portes, ce flux de chaleur est appelé déperdition qui sont dues à deux causes distincts :

Les apports de froid dû au renouvellement de l'air local.

Les flux de chaleur traversant les parois par transmission.

**4/- Bilan frigorifique d'une chambre froide**

Le calcul des charges thermiques d'une chambre froide a pour objet la détermination de la puissance frigorifique de l'équipement à mettre en œuvre pour la réfrigération de cette chambre.

Les charges thermiques d'une chambre froide se répartissent en deux catégories :

1. Les charges thermiques externes
2. Les charges thermiques internes

Les charges thermiques externes comprennent :

Les charges dues aux apports de chaleur par transmission à travers l'enveloppe de la chambre froide (parois verticales, plancher bas et plancher haut)

Les charges dues au renouvellement d'air

Les charges dues à l'ouverture des portes

Les charges thermiques internes se divisent en deux catégories que sont les charges dépendantes des produits entreposés et les charges indépendantes des produits entreposés.

Les charges thermiques internes dépendantes des produits entreposés comprennent :

1. Les charges dues aux produits entrants
2. Les charges dues à la respiration des produits (fruits et légumes)
3. Les charges dues à la fermentation des produits (fromages)

Les charges thermiques internes indépendantes des produits entreposés comprennent :

1. Les charges dues à l'éclairage

2. Les charges dues au personnel
3. Les charges dues aux chariots élévateurs et transpalettes
4. Les charges dues à la présence éventuelle d'autres machines

Les charges dues à la chaleur dégagée par le moteur de chaque ventilateur d'évaporateur  
les charges dues au dégagement de chaleur des résistances électriques des évaporateurs  
lorsque ces résistances sont mises sous tension en période de dégivrage.

### 5/- Détermination charges thermique externes

#### 5.1/- Charges thermique par transmission à travers les parois Qtr

On procéde à ce calcul paroi par paroi d'abord les quatre parois verticales puis le plancher haut (toiture) et enfin le plancher bas. Ces pertitions ont pour valeur :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum_{j=1}^n \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_1}} \text{ en } [N/m^2.k] \quad (\text{III.1})$$

$h_i$  : Coefficient de convection intérieure en W / . K

$h_e$  : Coefficient de convection extérieure en W / .K

$e_n$  : Epaisseur de La paroi j (n parois composées en série) en m

$\lambda_n$  : Conductivité thermique de La paroi j en W/m.K

#### A- Murs

Mur double paroi de brique creuse de 10cm avec un isolant en polystyrène expansé de 2\*6cm d'épaisseur et d'un enduit ciment de 2cm extérieur et intérieur. Avec :

$$\lambda_{\text{brique creuse}} (\lambda_B) = 0.4 \frac{W}{m.k}$$

$$\lambda_{\text{polystyrène expansé}} (\lambda_{PL}) = 0.037 \frac{W}{m.k}$$

Enduit ciment ( $\lambda_{E x}$ ) = 1,15w/ m. k

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + 2 \cdot \frac{e_{EC}}{\lambda_{EC}} + 2 \frac{e_B}{\lambda_B} + \frac{e_{PL}}{\lambda_{PL}} + \frac{1}{h_2}} \text{ en } [N/m^2.k] \quad (\text{III.2})$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{h} &= 0.06 \left[ m^2 \cdot \frac{k}{W} \right] \\ \frac{1}{h} &= 0.06 \left[ m^2 \cdot \frac{k}{W} \right] \end{aligned} \right\} \text{ (tiré du tableau (07) Annexe)}$$

$$Q_{tr1} = K1 \cdot S1 \cdot \Delta T$$

$Q_{tr}$  : flux de chaleur en (Watt)

$K$  : coefficient d'échange (N/m<sup>2</sup>. K)

S : surface d'échange (m<sup>2</sup>)

ΔT : la différence de température (Te-Ti)

Te : température extérieure en (°C)

Ti : température intérieure en (°C)

A.N :

$$K_1 = \frac{1}{0.06 + 2 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-2}}{1.15} + 2 \frac{10 \cdot 10^{-2}}{0.4} + \frac{12 \cdot 10^{-2}}{0.037} + 0.03}$$

$$K_1 = 0.258 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$$

$$S_1 = 2 \cdot [I \cdot h + I \cdot L + h \cdot l]$$

$$S_1 = 2 \cdot [4.2 \cdot 4 + 4.2 \cdot 12 + 4 \cdot 12]$$

$$S_1 = 230.4 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$= 24 - 5 = 19^\circ\text{C}$$

$$Q_{tr1} = 1129.420 \text{ W}$$

### B - Sol (ou plancher)

Deux couches de béton armé de 10cm d'épaisseur l'une, avec un isolant en polystyrène expansé 2 x 6cm d'épaisseur.

$$Q_{tr2} = k_2 \cdot S_2 \cdot \Delta T$$

$$Q_{tr1} = K_2 \cdot S_2 \cdot \Delta T$$

A.N:

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + 2 \cdot \frac{e_{EC}}{\lambda_{EC}} + 2 \frac{e_B}{\lambda_B} + \frac{e_{PL}}{\lambda_{PL}} + \frac{1}{e}} \quad (\text{III. 3})$$

$$K_2 = \frac{1}{0.06 + 2 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-2}}{1.15} + 2 \frac{10 \cdot 10^{-2}}{0.4} + \frac{12 \cdot 10^{-2}}{0.037}}$$

$$K_2 = 0.292 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$$

$$S_2 = L \cdot I$$

$$S_2 = 12 \cdot 4.2$$

$$S_2 = 50.4 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 24 - 5 = 19^\circ\text{C}$$

$$Q_{tr2} = 279.61 \text{ W}$$

**C – Plafond :**

Dalle en béton armé d'épaisseur 20cm, un isolant en polystyrène expansé de 2 x 6cm et un dressage à l'intérieur de 2cm d'enduit ciment

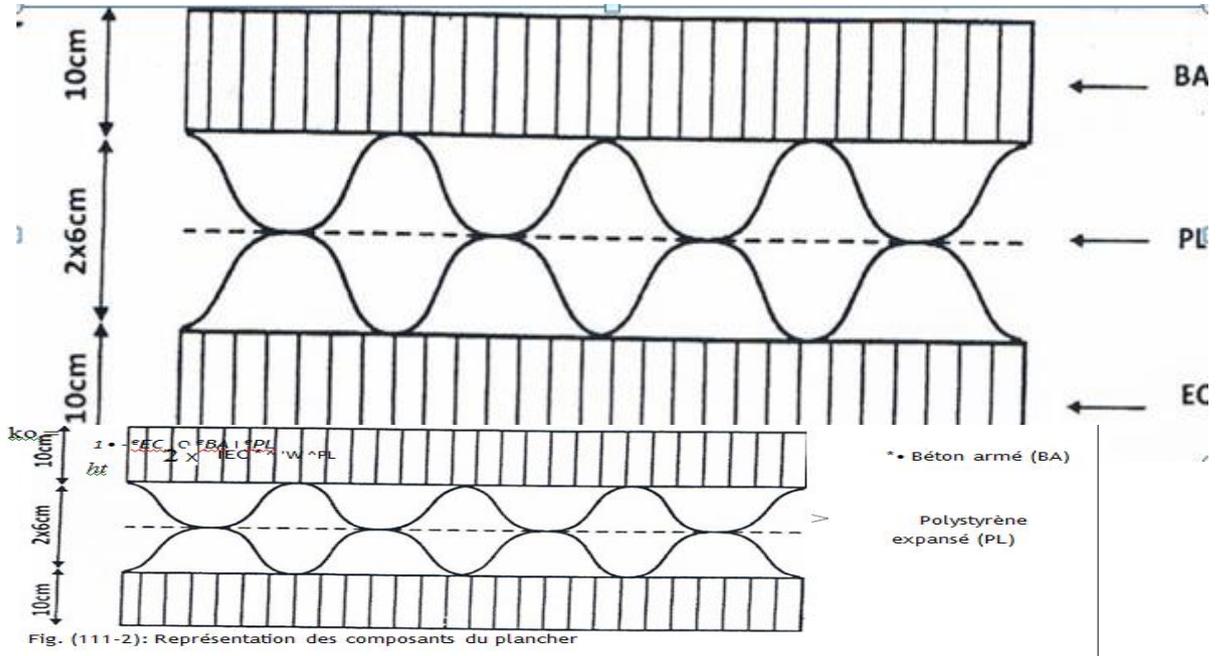


Fig. 1 : Représentation des composants du plafond

$$K_3 = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{BA}}{\lambda_{BA}} + \frac{e_{PL}}{\lambda_{PL}} + \frac{e_{EC}}{\lambda_{EC}} + \frac{1}{h_e}} \quad (III.4)$$

$k_3 = 0,288 \text{ w/m. K}$

$*S_3 = S_2 = 50,4 \text{ m}^2$

$\Delta T = 19^\circ$

$*Q_{tr3} = K_3 \cdot S_3 \cdot \Delta T$

$= 0,288 \times 50,4 \times 19$

$Q_{tr3} = 275,788 \text{ W}$

**D – Porte**

La porte à une hauteur de 2,10m, une largeur de 1,10m composée de 2 tôles en alliage de zinc de 1,5mm d'épaisseur enveloppant un isolant injecté par mousse polyuréthane de 6cm d'épaisseur et de densité égale à 45kg/m<sup>3</sup>.

Avec :

$\lambda$  Pour de zinc ( $\lambda_{TZ}$ ) = 110w/ m.K

$\lambda$  Polyuréthane ( $\lambda_{Pp}$ ) = 0,029w/m. K

$$K_4 = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + 2 \cdot \frac{e_{TZ}}{\lambda_{TZ}} + \frac{e_{PR}}{\lambda_{PR}} + \frac{1}{h_e}} \quad (\text{III.5})$$

$$K_4 = \frac{1}{0.06 + 2 \cdot \frac{0.15 * 10^{-2}}{110} + \frac{6 \cdot 10^{-2}}{0.029} + 0.03}$$

$$K_4 = 0,288 \text{ w/m. K}$$

$$*S_4 = 2.10 * 1.10$$

$$\Delta T = 19^\circ$$

$$Q_{tr4} = K_4 \cdot S_4 \cdot \Delta T$$

$$= 0,463 \times 2.31 * 19$$

$$Q_{tr4} = 20.328 \text{ W}$$

$$Q_{tr} = Q_{tr1} + Q_{tr2} + Q_{tr3} + Q_{tr4}$$

$$= 1129,420 + 279,61 + 275,788 + 20,328 /$$

$$Q_{tr} = 1705,146 \text{ w}$$

### 5.2/-Charges thermiques par renouvellement d'air ( $Q_{re}$ )

Il est prévu un renouvellement de l'air ambiant dans certaines chambres froides.

Le renouvellement consiste au remplacement d'une partie de l'air de la chambre froide par de l'air extérieur.

5.2. A Ce renouvellement a pour objectif :

1. De conserver les denrées dans un bon état de fraîcheur
2. Éliminer les odeurs
3. Éviter une modification de la composition de l'air due à la respiration des produits et des personnes.

La quantité d'air neuf admise doit être refroidie de la température extérieure à la température de la chambre froide et constitue donc une charge thermique.

La charge thermique par renouvellement d'air a pour valeur :

$$Q_{re} = m_{ae} \cdot \Delta H \text{ en [KW]} \quad (\text{III.6})$$

$Q_{re}$  : charge thermique par renouvellement d'air en W

$m_{ae}$  : débit massique de l'air extérieur admis en kg/s

$v_{ae}$  : débit volumique de l'air extérieur admis en  $m^3/\text{kg}$

$p_{aa}$  : masse volumique de l'air extérieur admis en  $\text{kg}/m^3$

$\Delta H$  : différence d'enthalpie entre l'air extérieur et l'air de la chambre froide en J/kg

$$* \Delta H = H_e - H_i = 33,33 - 16,66$$

$$\Delta H = 16,66 \text{Kj/Kg}$$

Le débit massique de l'air extérieur admis peut s'obtenir par la relation suivante :

$$* m_{ae} = \frac{V_{ae} - \rho_{aa}}{86400} \quad \text{Avec :}$$

$$\rho_{aa} = \frac{\rho_0}{1 + \frac{T}{273.15}}$$

$$\text{Avec : } * \rho_0 = 1,293 \text{ Kg/m}^3$$

$$* T = 5 \text{ k}$$

$$\rho_{aa} = \frac{\rho_0}{1 + \frac{T}{273.15}}$$

$$\rho_{aa} = \frac{1.293}{1 + \frac{5}{273.15}}$$

$$* \rho_{aa} = 1.269 \text{ kg/m}^3$$

$$* V_{ae} = V_{cf} * n \quad \text{en [m}^3/\text{j]}$$

$$* n = \frac{70}{\sqrt{V_{cf}}}$$

$$\text{Et } V_{cf} = I * L * H = 4,2 * 12 * 4$$

$$V_{cf} = 201,6 \text{ m}^3$$

$$n = \frac{70}{\sqrt{201.6}}$$

$$n = 4,930 \text{ jour}^{-1}$$

$$V_{ae} = V_{cf} * n = 201,6 * 4,930$$

$$V_{ae} = 993,888 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$m_{ae} = \frac{V_{ae} - P_{aa}}{86400}$$

$$m_{ae} = \frac{993.888 * 1.269}{86400}$$

$$m_{ae} = 0,014 \text{ Kg/s}$$

$$* Q_{re} = m_{ae} * \Delta H$$

$$= 0,014 * 16,66$$

$$Q_{re} = 0,233 \text{ KW}$$

$$Q_{re} = 233,24 \text{ W}$$

### 5.3/- Charges thermiques ouverture de porte (Qop)

$$Q_{op} = [8,0 + (0,0067 \cdot \Delta T_p)] \cdot \tau_p \cdot \rho_{aa} \cdot l_p \cdot h_p \cdot \sqrt{h_p \left(1 - \frac{\rho_{ae}}{\rho_{aa}}\right)} \cdot (\Delta h) \cdot C_{ra} \quad (III.7)$$

$\Delta T_p = T_e - T_a$  (écart de température de l'air entre les deux côtés de la porte

( $T_a$  : la température ambiante de la chambre,  $T_e$  : température extérieure))

$\tau_p$  : Temps d'ouverture de la porte min/h

$\rho_{aa}$  : masse volumique de l'air extérieur admis en ( $kg/m^3$ )

$l_p$  : largeur de la porte en ( m)

$h_p$  : hauteur de la porte en (m)

$\rho_{ae}$  : masse volumique de du côté de la porte autre que la chambre froide en ( $kg/m^3$ )

$\Delta H$  : la différence entre enthalpie de l'air du côté de la porte et enthalpie de l'air ambiante dans la chambre froide d'un rideau d'air

$C_{ra}$  : coefficient de minoration du à la présence éventuelle

$\Delta T_p = 5 \text{ k}$

$\rho_{aa} = 1,293 \text{ kg/m}^3$

$l_p = 1,2 \text{ m}$

$h_p = 2,0 \text{ m}$

$$\rho_{ae} = \frac{1,293}{1 + \frac{5}{273,15}}$$

$\Delta h = 16,66 \text{ kJ/kg}$

$C_{ra} = 1$  par hypothèse car les portes ne sont pas équipées d'un rideau d'air froid

$$Q_{op} = [8,0 + (0,0067 \cdot 5)] \cdot 8 \cdot 1,269 \cdot 1,2 \cdot 2 \cdot \sqrt{2 \left(1 - \frac{1,269}{1,293}\right)} \cdot (16,66) \cdot 1$$

$Q_{op} = 25897,31 \text{ W}$

$Q_{op} = 25,90 \text{ KW}$

## 6/-Calcul des charges thermiques internes

### 6.1/- Charges thermiques indépendantes des produits entreposés

Les luminaires des chambres froides classiques doivent pouvoir résister au froid, à l'humidité, être étanches à l'eau, être protégés des contacts avec tous objets (degré de protection IP 68) et être insensibles aux effets de la poussière.

L'éclairage nominal habituellement prévu oscille entre 60 et 100 lux ce qui fait que l'on peut adopter une charge thermique d'environ 6 W/m<sup>2</sup> au sol.

La charge thermique due à l'éclairage se calcule d'après la formule :

$$Q_{ec} = \frac{i \times p \times \tau}{24} \quad \text{En [W]} \quad (\text{III.8})$$

Avec :  $t' = 8h/j$  ;  $i = 4$  lampes

$$Q_{ec} = \frac{4 \times 60 \times 8}{24}$$

$$Q_{ec} = 80W$$

### 6.2/- Charge thermique due aux personnes ( $Q_{pe}$ )

$$Q_{ec} = \frac{i \times p \times r}{24} \quad \text{En [KW]} \quad (\text{III.9})$$

I : nombres d'opérant dans la chambre froide

Qf : quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne en activité moyenne dans une chambre froide en W

$\tau$  rinst : durée de chaque personne dans la chambre froide h/j

Avec :  $i=8$  personnes  $t'' = 8h/j$

$$Q_{pe} = \frac{4 \times 240 \times 8}{24}$$

$$Q_{pe} = 320W$$

### 7/-Charge thermique interne dépendante des denrées

#### 7.1 /- Puissance frigorifique intermédiaire d'évaporateur ( $Q_{int}$ )

Arrivé à ce stade calcul, il est nécessaire de déterminer la puissance frigorifique intermédiaire  $Q_{int}$  que l'évaporateur devront assurer afin de couvrir la charge thermique intermédiaire somme des différentes charges unitaires précédemment calculées. Cette puissance intermédiaire est la puissance frigorifique prévisionnelle  $Q$  prévu

$$Q_{de} = \frac{fi \times ci \times (T'_1 - T'_2)}{86400} \quad (\text{III.10})$$

$fi$  : Masse de denrées introduire chaque jour kg

$ci$  : Capacité thermique massique moyenne entre  $t_1$  et  $t_2$  de chaque type de denrée introduit en kJ/kg. K

$T_1$  : Température initiale de la denrée introduit en °C

$T_2$  : Température de congélation de la denrée introduit en °C

Avec :  $C_1 = 3,85$  [KJ/Kg. K]

$T_2$  (congélation = 0°C)

$$Q_{de} = \frac{82,944 \times 3,85 \times (15-0)}{86400} \quad \text{En (KW)}$$

$$Q_{de} = 0,05544 \text{ KW}$$

$$Q_{de} = 55,44 \text{ W}$$

$$Q_{int} = Q_{tr} + Q_{re} + Q_{op} + Q_{ec} + Q_{pe} + Q_{de}$$

$$= 1705,46 + 233 + 25897,31 + 80 + 320 + 55,4$$

$$Q_{int} = 28291,2 \text{ KW}$$

$$Q_{int} = 28,29 \text{ KW}$$

$$Q_{Pe} = \frac{Q_{int} * 24}{t_{rinst}}$$

Avec :  $t_{rinst} = 16 \text{ h/jour}$

$$Q_{Pe} = \frac{28291,21 * 24}{16} \quad \text{En (KW)}$$

$$Q_{int} = 42436,8 \text{ W}$$

$$Q_{int} = 42,43 \text{ KW}$$

### 7.2/-Charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs ( $Q_{vent}$ )

$$Q_{vent} = \frac{n * p * \tau_{evap}}{T_{rinst}} \quad \text{en (kw)} \quad \text{(III.11)}$$

N : nombre de moteurs de ventilateurs

P : puissance de ventilateur en W

$\tau_{evap}$  : durée de fonctionnement des ventilateurs en h/d

$\tau_{rinst}$  : durée de marche de l'installation frigorifique en h/d

Avec :  $p = 360 \text{ W}$

$\tau_{mst} = \tau_{evap}$

$t' = 1 \text{ moteur}$

### 7.3/-Charge thermique due résistantes de dégivrage $Q_{dég}$

$$Q_{vent} = \frac{n * p * \tau_{dég}}{T_{rinst}} \quad \text{en (KW)} \quad \text{(III.12)}$$

Avec :  $p = 3500 \text{ w}$  ;  $n = 1$  résistance ce ;  $\tau_{dég} = 60 \text{ min/j}$

$$Q_{vent} = \frac{1 * 3500 * 1}{16} \quad \text{en (KW)}$$

$$Q_{dég} = 218,75 \text{ W}$$

f-Contrôle de puissance frigorifique effective de l'évaporateur

$$Q_{ef} = Q_{int} + Q_{vent} + Q_{dég}$$

$$Q_{ef} = 42436.81 + 360 + 218.75$$

$$Q_{ef} = 43015,56W$$

$$Q_{ef} = 43.01KW$$

## 8/- Sélection des composants d'installation frigorifique

### 8.1/- Choix fluide frigorigène

Afin d'assurer une continuité de service pour les installations existantes, les producteurs de fluides frigorigènes ont élaboré des mélanges dit de transition à base de HCFC (R22, R124, R 142b, 152a) ayant une durée de vie d'environ une quinzaine d'années et des fluides définitifs (corps purs ou mélanges): R23, R32, R134a, R404....etc. Ces fluides permettent une conversion du fluide d'origine par un produit à faible (ou sans) action sur la couche d'ozone.

#### *Réglementation Européenne :*

La réglementation communautaire en matière de CFC et HCFC stipule à ce jour Pour les CFC : Arrêt de production de puis le 31/12/1994.

Commercialisation et utilisation interdite à la date d'entrée en vigueur du texte (01/01/1999).

Dérogation est donnée pour la maintenance jusqu'à 31/12/1999.

Pour les HCFC :

-Production autorisée jusqu'au 31/12/2014.

-Utilisation interdite dans les équipements neufs, depuis le 01/01/1996.

-Utilisation interdite dans les équipements neufs des entrepôts frigorifiques publics à partir du 01/01/2000

-Utilisation des HCFC interdite en maintenance à partir du 01/01/2008.

On a fait alors le choix du R 134a (HFC) comme fluide frigorigène pour notre installation.

### 8.2/-Choix Température d'évaporateur

Lorsqu'on considère le ou les évaporateurs d'une installation frigorifique, on doit distinguer ceux fonctionnant en ventilation naturelle et ceux fonctionnant en ventilation forcée. Dans le premier cas, il n'est pas prévu de ventilateur mécanique alors que dans le second cas, il en est prévu un ou plusieurs.

Les évaporateurs à ventilation forcée sont actuellement les plus répandus puisqu'ils représentent plus de 80% du marché. Il s'agit dans la plupart des cas

d'évaporateurs du type aspirant, c'est-à-dire d'appareils dont le ou les ventilateurs sont placés sur la face.

Tous les fabricants donnent dans leurs catalogues un certain nombre de recommandations concernant les plages d'utilisation de leurs différents modèles d'évaporateurs.

Dans mon cas pour cette chambre froide laitier, et en considération de toutes les données précédentes avec les puissances déjà calculé j'ai fait le choix d'un évaporateur dont l'écartement entre ailettes (pas) est de 4,5mm qu'est utilisé dans le cas des installations dont la température d'évaporation est supérieure ou égale à 0°C.

Le type d'évaporateur choisi est de modèle IK 7053C qui a les caractéristiques suivantes :

- Volume tube circuit : 67dm<sup>3</sup>.
- Dimension : L\*l\*h=2528\* 1356\*827.
- Projection d'air : 20m.
- Débit d'air : 12340 (m<sup>3</sup>/h).
- Nombre de ventilateur : 2\*6250.
- @=53,07 KW.

### 8.3/-Choix de groupe de condensation

Dans la pratique, un condenseur à refroidissement à air est généralement déterminé sur la base d'une température de l'air de refroidissement tear de+32°C. Par ailleurs, les catalogues des fabricants donnent les caractéristiques de leurs condenseurs à refroidissement à air pour un écart normalisé de température AT=15K.

Le compresseur à utiliser sera de type mono-étage. Du document « COPLAND » pour les groupes semi-hermétiques on a sélectionné un groupe de type 400-DJ99-6W qui a les caractéristiques suivantes :

- \*Tube d'aspiration : 21/8"
- \*Tube refoulement : 13/8".
- \*Tube liquide : 7/8".
- \*Nombre de ventilateurs : 2.
- \*Débit d'air au condenseur : 6,41 (m<sup>3</sup>/s).
- \*Poids net/brut : 563/770 Kg.
- \*Nombre de ventilateurs : 2.
- \*Débit d'air au condenseur : 6,41 (m<sup>3</sup>/s).,

\* Poids net/brut : 563/770 Kg.

### 9/- Calcul de l'installation

$$T_s = T_o + \Delta T \text{ (avec } \Delta T \text{ de } 5 \text{ à } 7^\circ \text{ C)}$$

$$T_s = 5 + 6 = 11$$

$$T_s = 11^\circ \text{C}$$

### 9.1/- Calcul de la température de la surchauffe

$$T_{sr} = T_e - \Delta T$$

$$T_{sr} = 42 - 4 = 38 \text{ (avec } \Delta T \text{ varie de } 5 \text{ à } 7^\circ \text{C)}$$

$$T_{sr} = 38^\circ \text{C}$$

### 9.2/- Calcul du taux de compression

$$\tau = \frac{P_C}{P_0}$$

$$\tau = \frac{12}{3.5}$$

$\tau = 3,24 < 9$  === on a utilisé le système mono -

### 9.3/- production frigorifique massique (Q<sub>fm</sub>)

$$Q_{fm} = h_1' - h_4 = 418 - 251$$

$$Q_{fm} = 167 \text{Kj/m}^3$$

### 9.4/- Production frigorifique volumique (Q<sub>fv</sub>)

$$Q_{fv} = Q_{fm} / v'' \text{ avec } v'' = 0,06 \text{m}^3/\text{kg}$$

$$= 167 / 0,060$$

$$Q_{fv} = 2783,33 \text{Kj/m}^3$$

### 9.5/- Travail théorique du compresseur par 1kg de fluide

$$W_{th} = h_2 - h_1 = 450 - 418$$

$$W_{th} = 32 \text{Kj/kg}$$

### 9.6/- Débit massique du fluide frigorifique (q<sub>m</sub>)

$$q_m = Q_{réelle} / Q_{fm} = 43,01 / 167, q_m = 0,25 \text{kg/s}$$

### 9.7/- Volume horaire aspiré (V<sub>as</sub>)

$$V_{as} = q_m \times V'' = 0,25 \times 0,060, V_{as} = 0,015 \text{m}^3/\text{h}$$

### 9.8/- rendement volumétrique (q<sub>v</sub>)

$$q_v = 1 - 0,05 \times r = 1 - 0,05 \times 3,42, q_v = 0,83 = 86\%$$

### 9.9/- Coefficient de performance idéal (f)

$$f = \frac{T_0}{T_C - T_0} = \frac{278}{315 - 278}$$

$$= 7.5$$

**9.10/- Coefficient de performance réel (Cop)**

$$COP = \frac{Q_{fm}}{W_{th}}$$

$$COP = \frac{167}{32} \quad , \quad Cop = 5.2$$

**9.11/-le rendement thermodynamique**

$$\eta_{th} = \frac{COP}{\epsilon C} = \frac{5,2}{7,5}$$

$$\eta_{th} = 0.693 = 0.70, \quad \eta_{th} = 70\%$$

# ***CHAPITRE IV :***

---

## *Résultats et Discussion*

## **1/-Introduction**

Après avoir présenté dans les chapitres précédents une définition physique et mécanique et une analyse thermodynamique du système de réfrigération nous allons présenter dans ce chapitre les résultats numériques, cette dernière a été faite sous le logiciel SOLKANE 8.0 qui a été développé par l'entreprise allemande Solvay fluor GmbH Hanover.

Le but de ce chapitre c'est les calculs de bilan énergétique et la performance ainsi que l'influence des températures extérieurs sur ces paramètres.

## **2/- Description du logiciel SOLKANE**

Le logiciel solkane calcule les paramètres thermodynamiques et les propriétés de transport des fluides frigorigènes.[22]

- 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.[22]

- affiche les diagrammes p-h ou T-s des fluides frigorigènes.[22]

- assure, dans une fenêtre d'aide de Windows, une information complète sur les fluide frigorigènes SOLKANE depuis les propriétés physiques jusqu'au transport et à la garniture.[22]

\*Calcule les points d'état singuliers. Les points calculés

Point

dépendent des options complémentaires : vapeur humide'

Singulier



ou 'surchauffée', données de 'pression' ou 'température.

Introduites. [22]

Table

\*Calcule les propriétés thermodynamiques spécifiées où



elles sont présentées sous forme de table. [22]

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.[22]

Surchauffe

\* Permet d'entrer paramètres de la vapeur surchauffée' (état



Gazeux) pour calculer le point singulier ou les propriétés

Thermodynamiques.[22]

Cycle



\*Permet d'Ouvrir une fenêtre pour le calcul des procédés cyclique.

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.[22]

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).[22]

### 3/-Les fluides frigorigènes SOLKANE

Les fluides réfrigérants pouvant être utilisés et étudiés à l'aide du logiciel solkane sont les suivants :[22]



Figure 1 : listes des fluides frigorigène SOLKANE.[22]

### 4/-Comment sélectionner les fluides frigorigènes sur Solkane

Pour le calcul des propriétés d'une substance et des procédés cycliques de nombreux Fluides frigorigènes de la gamme de produits SOLKANE. Il existe plusieurs méthodes pour Choisir le fluide frigorigène dont on a besoin.[22]

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

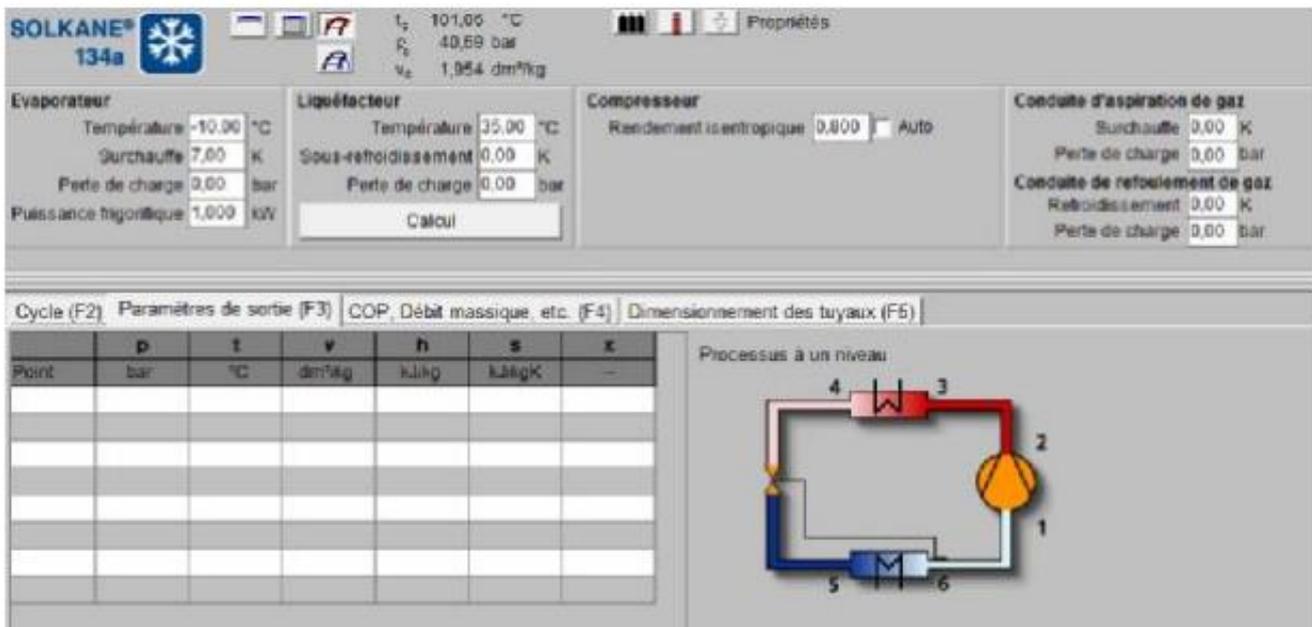


Figure 2 : les caractéristiques thermo physique du fluide choisis.[22]

Le nom du fluide frigorigène dont vous avez besoin exp.

**Méthode 2** : à l'aide du menu principal [22]

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.[22]

### 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.[22]

## 8/-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,[23] 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

Tableau 1 :ODP et GWP DES FLUIDES FRIGORIFIQUES.

Numéro R	Type de fluide	Substitut	Composition	Fabricant	Applications typiques
R-404A	HFC	R-502, R-22	R-125, R-143a, R-134a	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>Forane 404A, Honeywell 404A, Klea 404A, Solkane 404A, Suva 404A</u></li> <li>▷ Arkema, DuPont, Honeywell, Ineos, Solvay</li> </ul>	Basse température (froid commercial et industriel)
R-507	HFC	R-502, R-22	R-125, R-143a	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>Forane 507, Honeywell 507, Klea 507, Solkane 507, Suva 507</u></li> <li>▷ Arkema, DuPont, Honeywell, Ineos, Solvay</li> </ul>	Basse température (froid commercial et industriel)
R-407C	HFC	R-22	R-32, R-125, R-134a	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>Forane 407C, Honeywell 407C, Klea 407C, Solkane 407C, Suva 407C</u></li> <li>▷ Arkema, DuPont, Honeywell, Ineos, Solvay</li> </ul>	Climatisation, groupes d'eau glacée
R-410A	HFC	R-22	R-32, R-125	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>Forane 410A, Honeywell 410A, Klea 410A, Solkane 410A, Suva 410A</u></li> <li>▷ Arkema, DuPont, Honeywell, Ineos, Solvay</li> </ul>	Climatisation
R-408A	HCFC	R-502	R-22, R-125, R-143A	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>Forane 408A, Honeywell 408A, Arcton 408A</u></li> <li>▷ Arkema, Honeywell, Ineos</li> </ul>	Moyenne et basse température (froid commercial)
R-401A	HCFC	R-12	R-22, R-152a, R-124	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>Arcton 401A, Suva MP39</u></li> <li>▷ DuPont, Ineos</li> </ul>	Moyenne température (distributeurs de boissons, froid commercial, chambres froides)
R-401B	HCFC	R-12, R-500	R-22, R-152a, R-124	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>Suva MP65</u></li> <li>▷ DuPont</li> </ul>	Basse température (transport frigorifique)
R-402A	HCFC	R-502	R-125, R-290, R-22	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>Arcton 402A, Honeywell 402A, Suva HP80</u></li> <li>▷ DuPont, Honeywell, Ineos</li> </ul>	Moyenne et basse température (chambres froides, froid commercial)
R-402B	HCFC	R-502	R-125, R-22, Propan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>Suva HP81</u></li> <li>▷ DuPont</li> </ul>	Basse température (applications spéciales, machines à glace)
R-423A	HFC	R-12	R-134a, R-227	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>ISCEON MO39TC</u></li> <li>▷ DuPont</li> </ul>	Compresseurs centrifuges
R-417A	HFC	R-22	R-125, R-134a, Butan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>ISCEON MO59</u></li> <li>▷ DuPont</li> </ul>	Climatisation, moyenne température (froid commercial)
R-422A	HFC	R-22, R-502	R-125, R-134a, Isobutan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>ISCEON MO79</u></li> <li>▷ DuPont</li> </ul>	Moyenne et basse température (froid commercial et industriel)
R-422D	HFC	R-22	R-125, R-134a, Isobutan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>ISCEON MO29</u></li> <li>▷ DuPont</li> </ul>	Moyenne température, climatisation, groupes d'eau glacée
R-413A	HFC	R-12	R-134a, R-210, Isobutan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>ISCEON MO49</u></li> <li>▷ DuPont</li> </ul>	Moyenne température, climatisation, climatisation voitures
R-500B	PFC	R-10, R-503	R-116, R-23	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>Klea 500, Suva 95</u></li> <li>▷ DuPont, Ineos</li> </ul>	Basse températures (applications spéciales, chambres environnementales)
R-236fa	HFC	R-114	R-236fa	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ <u>Suva 236fa</u></li> <li>▷ DuPont</li> </ul>	Compresseurs centrifuges

## Chambre Froide

R-22	HCFC		R-22	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Arcton 22, Forane 22, Freon 22, Honeywell 22, Solkane 22</li> <li>▷ Arkema, DuPont, Honeywell, Ineos, Solvay</li> </ul>	Climatisation, moyenne et basse température (froid commercial et industriel)
R-23	HFC	R-13, R-503	R-23	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Klea 23, Solkane 23, Suva 23</li> <li>▷ Ineos, DuPont, Solvay</li> </ul>	Basse température (applications spéciales, médecine, chambres environnementales)
R-143a	HFC		R-143a	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Solkane 143a</li> <li>▷ Solvay</li> </ul>	Composant dans des mélanges de fluides frigorigènes
R-227	HFC	R-114, R-12B1	R-227	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Solkane 227</li> <li>▷ Solvay</li> </ul>	Climatisation
R-290	Fluide frigorigène naturel		Propan		
R-723	Fluide frigorigène naturel		NH3, Dimethylether	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ R-723</li> </ul>	Froid industriel
R-134a	HFC	R-12	R-134a	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Forane 134a, Honeywell 134a, Klea 134a, Solkane 134a, Suva 134a</li> <li>▷ Arkema, DuPont, Honeywell, Ineos, Solvay</li> </ul>	Moyenne température (réfrigérateurs domestiques, groupes d'eau glacée), transport frigorifique, climatisation voitures
R-125	HFC		R-125	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Solkane 125</li> <li>▷ Solvay</li> </ul>	Composant dans des mélanges de fluides frigorigènes
R-407A	HFC	R-502	R-32, R-125, R-134a	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Klea 407A</li> <li>▷ Ineos</li> </ul>	Moyenne et basse températures (froid commercial)
R-407B	HFC	R-502	R-32, R-125, R-134a	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Klea 407B</li> <li>▷ Ineos</li> </ul>	Moyenne et basse températures (froid commercial)
R-407D	HFC	R-500, R-12	R-32, R-125, R-134a	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Klea 407D</li> <li>▷ Ineos</li> </ul>	Conteneurs réfrigérés
R-32	HFC	R-22, R-502	R-32	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Klea 32</li> <li>▷ Ineos</li> </ul>	Composant dans des mélanges de fluides frigorigènes, froid industriel
R-412A	HCFC	R-12	R-22, R-218, R-142b	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Arcton 412</li> <li>▷ Ineos</li> </ul>	Basse température
R-509	HCFC	R-12	R-22, R-218	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Arcton 509</li> <li>▷ Ineos</li> </ul>	Basse température
R-744	Fluide frigorigène naturel		CO2	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ R-744</li> </ul>	froid commercial, climatisation mobile
R-717	Fluide frigorigène naturel		NH3	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ „NH3</li> </ul>	Froid industriel
R-600	Fluide frigorigène naturel		Butan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ R-600</li> </ul>	froid commercial, réfrigérateurs

Tableau 2 : Liste de fluides frigorigènes les plus répandus et leurs propriétés.[23]

### 7/-Présentation des paramètres qui affiche les résultats.

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. [22]

Pour cela, on se propose d'évaluer l'impact de 10 réfrigérants dans les mêmes conditions de fonctionnement d'une machine frigorifique ayant les caractéristiques suivantes :

- Puissance frigorifique utile nécessaire :  $P_{\text{frigorifique}} = 200 \text{ kW}$
- Température de condensation =  $40^{\circ}\text{C}$
- Température d'évaporation ou d'ébullition  $-10^{\circ}\text{C}$
- Sous-refroidissement =  $5^{\circ}\text{C}$
- Surchauffe =  $7^{\circ}\text{C}$
- rendement du compresseur  $\text{comp} = 0,80$
- rendement du moteur électrique  $\text{moteur}_{\text{élec}} = 0,80$

On suppose que les pertes de charge et les pertes thermiques sont négligeables au niveau des conduites.[22]

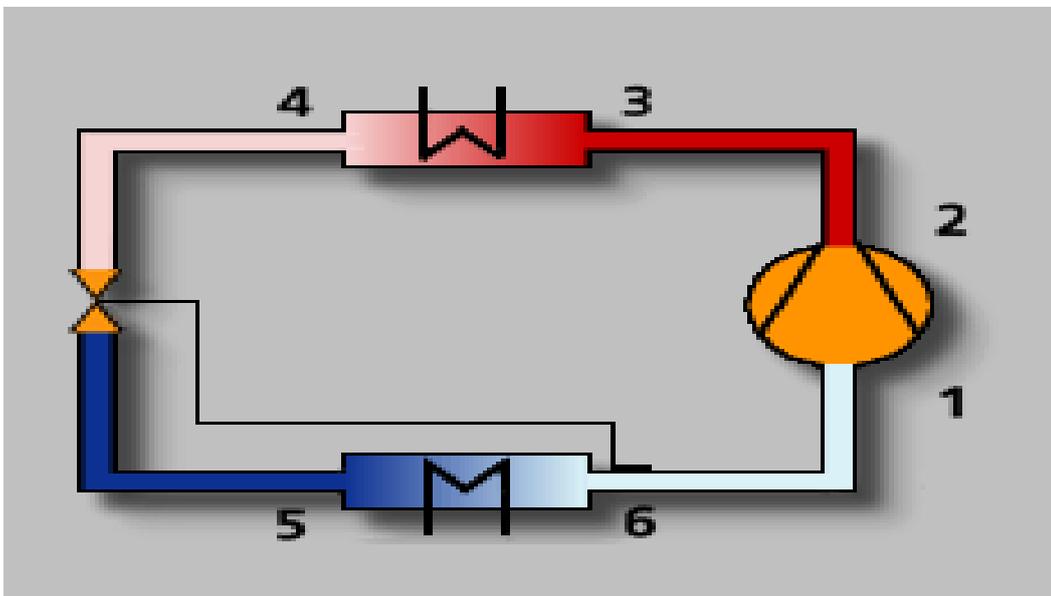


Figure 2: cycle chambre froide simple.[22]

### 9/-circuit frigorifique simple

A partir des caractéristiques ci-dessus, on obtient le cycle de la figure 3 pour les réfrigérants (R22, R32, R134a, R404A, R407A, R410A, R11, R12):

- 9.1.1/-Avec R22

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	200 kW	Rapport de compression	4,32
Liquéfacteur	259 kW	Différence de pression	11,79 bar
Compresseur	58,7 kW	Débit massique	1228,1 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	298,6 m³/h
		Capacité volumétrique	2412 kJ/m³
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,41
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

Point	p bar	t °C	v dm³/kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x --
1	3,55	-3,00	67,53	405,99	1,7839	
2s	15,34	70,65	18,27	444,21	1,7839	
2	15,34	81,78	19,27	453,77	1,8113	
3	15,34	81,78	19,27	453,77	1,8113	
3'	15,34	40,00	15,11	416,26	1,6987	
3"4'm	15,34	40,00	8,00	332,94	1,4326	
4'	15,34	40,00	0,89	249,63	1,1666	
4	15,34	35,00	0,87	243,14	1,1462	
5	3,55	-10,00	17,36	243,14	1,1653	0,258
56"m	3,55	-10,00	41,27	322,11	1,4654	
6"	3,55	-10,00	65,18	401,09	1,7655	
6	3,55	-3,00	67,53	405,99	1,7839	

Figure 4 : paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R22.

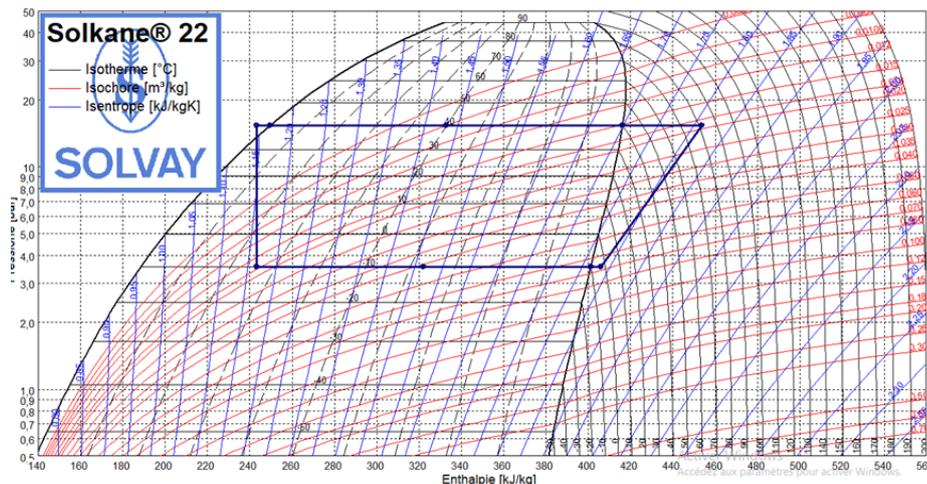


Figure 5 : diagramme P-H du cycle simple R22.

• 9.1.2/-Avec R32

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	200 kW	Rapport de compression	4,25
Liquéfacteur	262 kW	Différence de pression	18,95 bar
Compresseur	61,6 kW	Débit massique	782,6 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	185,3 m³/h
		Capacité volumétrique	3885 kJ/m³
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,25
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

Point	p bar	t °C	v dm³/kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x --
1	5,83	-3,00	65,78	520,62	2,2197	
2s	24,78	89,46	19,62	583,62	2,2197	
2	24,78	102,43	20,85	599,37	2,2624	
3	24,78	102,43	20,85	599,37	2,2624	
3'	24,78	40,00	13,66	512,10	2,0066	
3"4'm	24,78	40,00	7,39	393,73	1,6285	
4'	24,78	40,00	1,12	275,35	1,2505	
4	24,78	35,00	1,09	265,07	1,2185	
5	5,83	-10,00	16,39	265,07	1,2489	0,249
56"m	5,83	-10,00	39,74	389,19	1,7206	
6"	5,83	-10,00	63,09	513,31	2,1923	
6	5,83	-3,00	65,78	520,62	2,2197	

Figure 6 : paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R32.

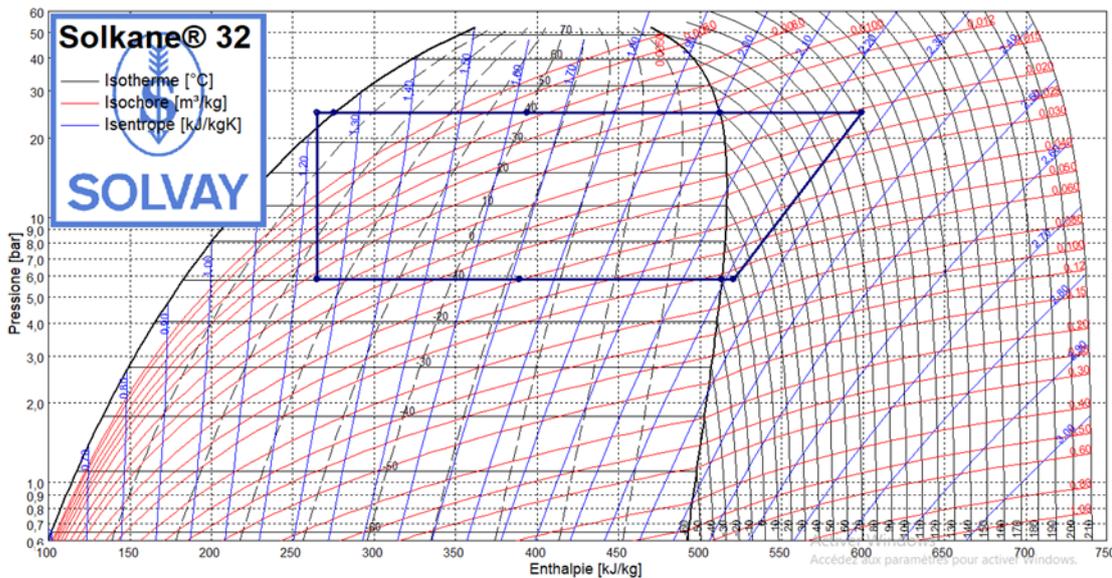


Figure 7 : diagramme P-H DU cycle simple R32

• 9.1.3/-Avec R134a

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	200 kW	Rapport de compression	5,07
Liquéfacteur	259 kW	Différence de pression	8,16 bar
Compresseur	58,7 kW	Débit massique	1338,7 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	496,2 m³/h
		Capacité volumétrique	1451 kJ/m³
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,41
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	-3,00	102,96	398,48	1,7552	
2s	10,17	52,99	21,73	433,54	1,7552	
2	10,17	61,21	22,75	442,31	1,7818	
3	10,17	61,21	22,75	442,30	1,7818	
3'	10,17	40,00	19,98	419,33	1,7107	
3"4'm	10,17	40,00	10,42	337,88	1,4502	
4'	10,17	40,00	0,87	256,43	1,1897	
4	10,17	35,00	0,86	249,08	1,1663	
5	2,01	-10,00	30,71	249,08	1,1878	0,303
56"m	2,01	-10,00	65,13	320,83	1,4605	
6"	2,01	-10,00	99,54	392,58	1,7331	
6	2,01	-3,00	102,96	398,48	1,7552	

Tableau 8 : paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R134.

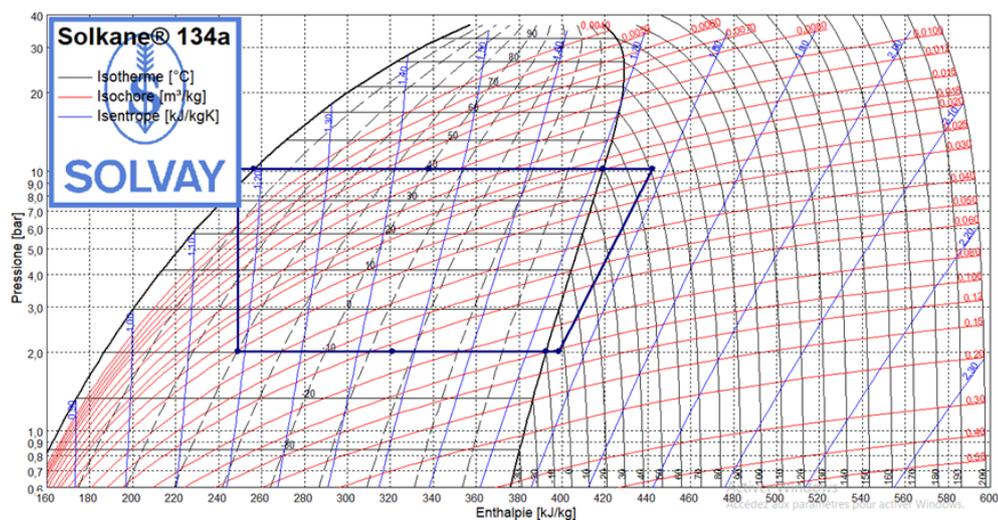


Figure 9 : diagramme P-H DU cycle simple R134a.

• 9.1.4/-Avec R404A :

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	200 kW	Rapport de compression	4,21
Liquéfacteur	264 kW	Différence de pression	13,84 bar
Compresseur	64,1 kW	Débit massique	1722,9 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	294,9 m³/h
		Capacité volumétrique	2442 kJ/m³
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,12
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

Point	p bar	t °C	v dm³/kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x
1	4,31	-3,00	47,54	367,18	1,6371	
2s	18,15	52,47	11,22	396,95	1,6371	
2	18,15	58,44	11,78	404,40	1,6597	
3	18,15	58,44	11,78	404,40	1,6597	
3'	18,15	40,00	9,86	380,16	1,5845	
3"4'm	18,15	39,83	5,45	319,67	1,3915	
4'	18,15	39,66	1,03	259,18	1,1984	
4	18,15	34,66	1,01	251,09	1,1722	
5	4,31	-10,35	17,61	251,09	1,1962	0,374
56"m	4,31	-10,18	31,63	305,89	1,4045	
6"	4,31	-10,00	45,65	360,69	1,6127	
6	4,31	-3,00	47,54	367,18	1,6371	

Figure 10 : paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R404A.

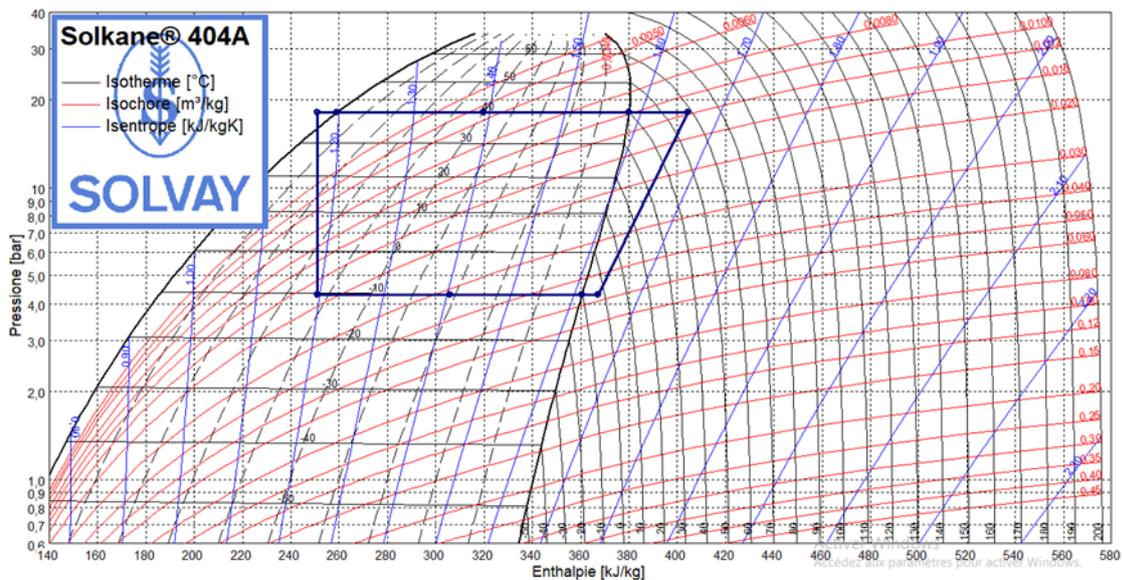


Figure11 : diagramme P-H DU cycle simple R404A.

• 9.1.5/- Avec R407A

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	200 kW	Rapport de compression	4,74
Liquéfacteur	260 kW	Différence de pression	12,98 bar
Compresseur	60,0 kW	Débit massique	1285,9 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	304,4 m³/h
		Capacité volumétrique	2366 kJ/m³
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,33
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

Point	p bar	t °C	v dm³/kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x --
1	3,47	-3,00	65,75	397,26	1,7603	
2s	16,45	59,87	15,03	434,62	1,7603	
2	16,45	68,16	15,80	443,96	1,7880	
3	16,45	68,16	15,80	443,95	1,7880	
3'	16,45	40,00	12,89	410,70	1,6862	
3"4'm	16,45	37,76	6,90	329,87	1,4258	
4'	16,45	35,52	0,91	249,05	1,1655	
4	16,45	30,52	0,89	241,74	1,1416	
5	3,47	-14,14	19,12	241,74	1,1632	0,293
56"m	3,47	-12,07	41,24	316,44	1,4503	
6"	3,47	-10,00	63,36	391,14	1,7374	
6	3,47	-3,00	65,75	397,26	1,7603	

Figure12 : paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simpleR407A.

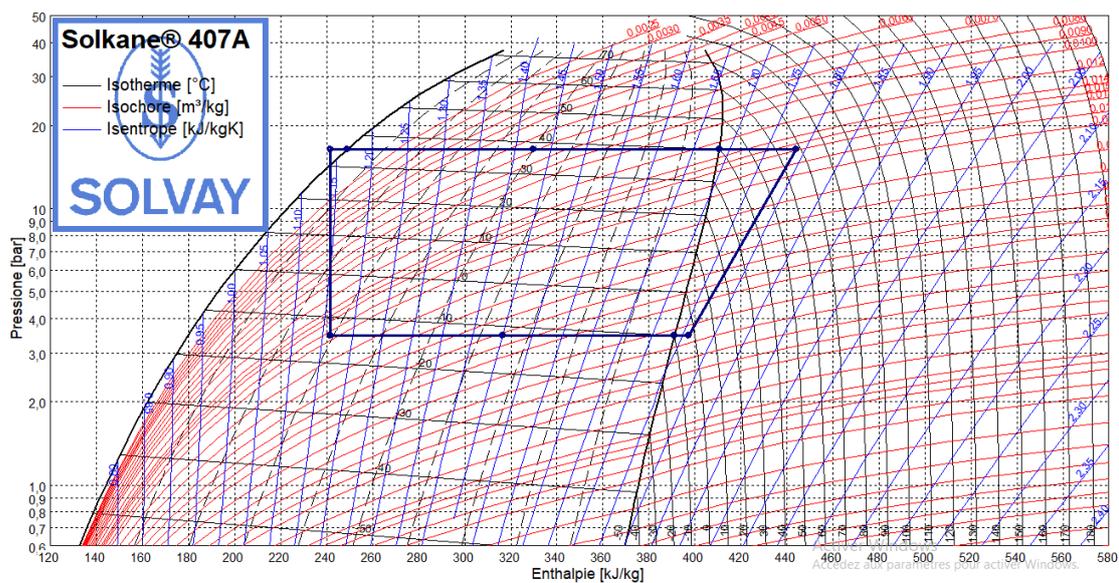


Figure13 : diagramme P-H DU cycle simple R404A.

• 9.1.6/- Avec R410A

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	200 kW	Rapport de compression	4,22
Liquéfacteur	263 kW	Différence de pression	18,46 bar
Compresseur	62,8 kW	Débit massique	1191,1 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	204,2 m³/h
		Capacité volumétrique	3525 kJ/m³
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,18
Conduite de refoulement de gaz	0,000 kW		

	p	t	v	h	s	x
Point	bar	°C	dm³/kg	kJ/kg	kJ/kgK	--
1	5,73	-3,00	47,63	424,80	1,8559	
2s	24,19	69,78	12,78	466,98	1,8559	
2	24,19	78,50	13,49	477,52	1,8862	
3	24,19	78,50	13,49	477,52	1,8862	
3'	24,19	40,00	9,69	424,83	1,7270	
3*4'm	24,19	39,94	5,36	345,45	1,4738	
4'	24,19	39,88	1,02	266,06	1,2206	
4	24,19	34,88	0,99	256,89	1,1917	
5	5,73	-10,07	14,66	256,89	1,2181	0,309
56*m	5,73	-10,03	30,14	337,46	1,5243	
6"	5,73	-10,00	45,62	418,03	1,8305	
6	5,73	-3,00	47,63	424,80	1,8559	

Figure 14 : paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R410A.

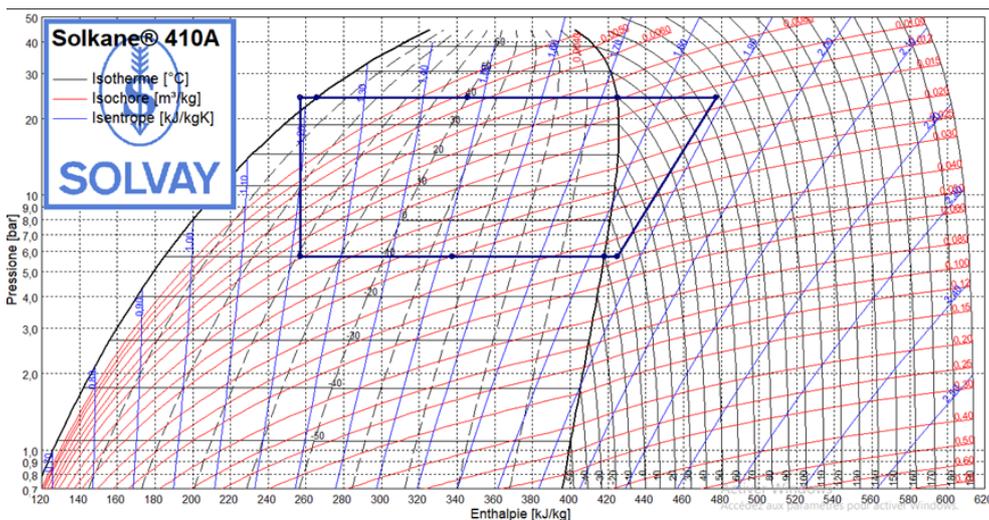


Figure15 : diagramme P-H DU cycle simple R410A.

- **9.1.7/- Avec R11 :**

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	200 kW	Rapport de compression	6,69
Liquéfacteur	253 kW	Différence de pression	1,47 bar
Compresseur	53,3 kW	Débit massique	1262,7 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	2846 m <sup>3</sup> /h
		Capacité volumétrique	253 kJ/m <sup>3</sup>
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,75
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	0,26	-3,00	626,02	386,68	1,7097	
2s	1,73	58,19	111,58	420,45	1,7097	
2	1,73	71,54	116,67	428,89	1,7347	
3	1,73	71,54	116,67	428,89	1,7347	
3'	1,73	40,00	104,31	408,74	1,6734	
3"4'm	1,73	40,00	52,50	320,67	1,3921	
4'	1,73	40,00	0,69	232,59	1,1109	
4	1,73	35,00	0,69	228,28	1,0971	
5	0,26	-10,00	114,52	228,28	1,1080	0,187
56"m	0,26	-10,00	361,62	305,48	1,4014	
6"	0,26	-10,00	608,72	382,67	1,6947	
6	0,26	-3,00	626,02	386,68	1,7097	

Figure16 : paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R11.

- **9.1.8/- Avec R12 :**

Puissances Processus à un niveau			
Evaporateur	200 kW	Rapport de compression	4,41
Liquéfacteur	258 kW	Différence de pression	7,39 bar
Compresseur	57,7 kW	Débit massique	1682,9 g/s
		Débit vol. (à l'aspiration)	488,2 m <sup>3</sup> /h
		Capacité volumétrique	1475 kJ/m <sup>3</sup>
Conduite d'aspiration de gaz	0,000 kW	COP	3,47
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	2,17	-3,00	80,58	352,97	1,5820	
2s	9,56	56,80	20,11	380,38	1,5820	
2	9,56	66,49	21,09	387,23	1,6024	
3	9,56	66,49	21,09	387,23	1,6024	
3'	9,56	40,00	18,32	368,57	1,5453	
3*4'm	9,56	40,00	9,56	303,90	1,3387	
4'	9,56	40,00	0,80	239,23	1,1322	
4	9,56	35,00	0,79	234,12	1,1161	
5	2,17	-10,00	21,91	234,12	1,1306	0,274
56*m	2,17	-10,00	50,03	291,56	1,3488	
6"	2,17	-10,00	78,14	348,99	1,5671	
6	2,17	-3,00	80,58	352,97	1,5820	

Figure17 : paramètres thermodynamiques du cycle frigorifique simple R12.

### 10/- l'influence sur Cop

Fréon	R22	R32	R134a	R404A	R407A	R410A	R11	R12
COP	3,41	3,25	3,41	3,12	3,33	3,18	3,75	3,47

Tableau3 : Résultats sur les performances des fluides frigorigènes

On remarque que pour les mêmes conditions de fonctionnement et durant la même durée, le coefficient de performances du R404A qui est de 3,12 est le plus faible contrairement à celui du R11 qui est de 3.75 qui est à son tour le plus élevé et d'après le tableau des fluides frigorigènes (R11 et R12) sont interdits au niveau mondial, donc non pris en compte dans la discussion des résultats finales, donc le meilleur COP est (R22, R134a).

### 11/-l'influence sur l'écart de Température

Fréons	R22	R32	R134a	R404A	R407A	R410A	R11	R12
Température (C°)	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00
	70.65	89.46	52.99	52.47	59.87	69.78	58.19	56.80
	81.78	102.43	61.21	58.44	68.16	78.50	71.54	66.49
	81.78	102.43	61.21	58.44	68.16	78.50	71.54	66.49
	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
	40.00	40.00	40.00	39.83	37.76	39.94	40.00	40.00
	40.00	40.00	40.00	38.66	35.52	39.88	40.00	40.00
	35.00	35.00	35.00	34.66	30.52	34.88	35.00	35.00
	10.00	-10.00	-10.00	-10.35	-14.14	-10.07	-10.00	-10.00
	-10.00	-10.00	-10.00	-10.18	-12.07	-10.03	-10.00	-10.00
	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00
-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	
Valeur max de Température	81.78	102.43	61.21	58.44	68.16	78.50	71.54	66.49
Valeur min de Température	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00
L'écart de Température	91.78	112.43	71.21	68.44	78.16	88.50	81.54	76.49

Tableau4 : Variation et l'écart de température

#### 11.1/-L'écart de température :

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

La valeur maximale de température dans ces 8 fréons est 102.43 qui correspond au R32.

La valeur minimale de température de ces 8 fréons est 58.44 qui correspond au R404A.

#### 12/-Comparaison des Résultats

D'après les résultats des simulations effectuées sur les 8 fréons données pour les mêmes paramètres (R22, R32, R134a, R404A, R407A, R410A, R11, R12), 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 R22 et le R134a sont les plus performants a un COP(coefficient de performance) égale de 3,41 (Le R11 et le R12 non-pris en compte car leurs production et utilisation a été interdite en 2001 et 1995 respectivement).

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]

### **13/-CONCLUSION**

Les facteurs qui doivent être pris en compte lors du choix du type de gaz réfrigérant pour les équipements de réfrigérations en tenant compte la valeur de température et pression et le meilleur coefficient de performance (COP) pour garantir une consommation optimale de l'énergie.

## Conclusion générale

Dans cette mémoire de fin d'étude, une étude numérique été réalisée sur un modèle d'une chambre froide à température positive.

Ce travail présente une étude des chambres froide positive, et on peut en retenir que :

- Le type du fluide réfrigérant influence fortement le coefficient de performance de la machine frigorifique.
- Il est primordial d'avoir un fluide présentant une grande chaleur latente de vaporisation.

Déterminer l'importances, les domaines d'utilisation et les applications des chambres froides, spécialement les chambres froides positives, ce qu'est le froid, son évolution à travers le temps, ses principes, son fonctionnement, les différents partis qui la compose et leurs différents rôles ainsi que diverses connaissances nécessaires à la compréhension de ceux-ci, sans oublier les différents connaissances mathématiques et physiques qui régissent ce domaine qui se représente sous plusieurs lois et différent constants en rapport avec l'installation (dimension ,isolation....) qu'on a ensuite appliqué lors d'une étude thermique d'une chambre froide donné dont tout les paramètres avaient été connu ( Température , longueur, largeur , hauteur, conductivité , coefficient de convection) pour au final calculer les performances de la dites machine :

- Les surfaces (les sections) d'échange.
- Les coefficients d'échanges.
- Les flux de chaleur pour faire le bilan thermique.
- Les charges thermiques pour connaitre le degré d'isolation
- Les puissances absorbées au dégagées des composants (évaporateur, compresseur, condenseur, détendeur)
- Le rendement (réel et idéal) et d'autres paramètre (débit, gradient de température, volume).

Finalement on a calculé le COP (coefficient de performance).

Pour finaliser notre travail nous avons proposés huit fréons connus, (R22, R32, R134a, R404A, R407A, R410A, R11, R12) 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 de 200KW, les fluides frigorigènes R22, R134a sont les plus performants d'un point de vue énergétique et la charge sera moindre lors du fonctionnement de la machine.

- La variation de la température et la pression au cours d'un cycle simple en tous points (évaporateur, compresseur, condenseur, détendeur), pouvant indiquer le qu'elles de nos fréons est plus favorable d'un point de vue économique et matériels en comparons le qu'elle de nos fréons a la pression la plus faible en fin de compression pour identifier celui qui requière le moindre investissement économique ( R11 suivi du R12) et d'identifier celui dont la température en fin de compression est la plus élevée car pouvant causer une grande consommation d'électricité et l'installion va être plus couteuse .
- Montrer le coefficient de performance (COP) relative a chaque fréon a fin de les comparer et de définir le plus performant celui qui assura un bon rapport cout/gain (En rapport aux conditions de températures/puissance et rendement imposées).

## Références

- [1] B. w. e. C. abderahim, Etude d'une chambre froide située dans une zone saharienne, bouira, 17/10/2018.
- [2] K. C. Akoua, AVANT-PROJET DE CONSTRUCTION ET EXPLOITATION DE CHAMBRES FROIDES POUR LA CONSERVATION DES PRODUITS, Benin, 2014/2015.
- [3] T. S. Djadi Kamilia, Caractérisation et conception d'un système de réfrigération, Bouira, 2014/2015.
- [4] G. S. NADJI Karima Pr. ABUDURA Salam, ETUDE D'UNE CHAMBRE FRIGORIFIQUE POUR LA REFRIGERATION DE MÉDICAMENTS THERMOSENSIBLES, médéa, 2015/2016.
- [5] O. JABER, Chambre Froide, juillet 2013.
- [6] K. C. Akoua, AVANT-PROJET DE CONSTRUCTION ET D'EXPLOITATION DE CHAMBRES FROIDES POUR LA CONSERVATION DES PRODUITS.
- [7] R. D. R. AILAS Abdelkrim, Etude chambre froide a température positive, Ain temouchent, 2018/2019.
- [8] M. ERRAJI, BILAN FRIGORIFIQUE D'UNE CHAMBRE FROIDE, maroc, 2014/2015.
- [9] B. S. GHETTAS Rachida, ETUDE D'UNE CHAMBRE FRIGORIFIQUE POUR LA CONGELATION DE POISSON, Médéa, 2016/2017.
- [10] A. D. & H. Ali, Etude et dimensionnement d'un centre de dépôt frigorifique, Bouira, 28/ 09 / 2017.
- [1] B. W. e. C. Abderahim, etude d'une chambre froide située dans une zone saharienne, 2018.
- [7] A. A. R. D. Rami, Etude d'une chambre froide a température positive, Ain Temouchent, 2018/2019.
- [10] A. D. & H. Ali, Etude et dimensionnement d'un centre de dépôt frigorifique., Bouira, 2016/2017.
- [11] (. S. S. Tinhinane, ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UNE CHAMBRE FROIDE, 2020.
- [12] « <https://www.abcclim.net/surchauffesous-refroidissement.html>, » [En ligne].
- [13] « [https://fr.wikipedia.org/wiki/Coefficient\\_de\\_performance#:~:text=Le%20COP%20est%20ainsi%20une,frigorifique%20est%20prise%20en%20compte.](https://fr.wikipedia.org/wiki/Coefficient_de_performance#:~:text=Le%20COP%20est%20ainsi%20une,frigorifique%20est%20prise%20en%20compte.), » [En ligne].
- [14] « [http://www.frigoristes.fr/getfile.php?att\\_id=2583&apli=forum\\_npds&att\\_nam](http://www.frigoristes.fr/getfile.php?att_id=2583&apli=forum_npds&att_nam), » [En ligne].
- [15] « Techno science, » [En ligne].
- [16] I. S. e. M. K. BELAID SAMIR, Etude comparative entre deux chambres froides équipées de panneaux sandwich et polystyrène expansé avec une alimentation photovoltaïque, 2018/2019.
- [17] o. maison, « <https://climatisation.ooreka.fr/astuce/voir/659395/circuit-frigorifique> ».
- [18] nelinkia, «<https://www.nelinkia.com/blog/applications/chambre-froide.html>».

- [19] C. A. Hamichi Meriem, <http://dspace.univ-bouira.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/7020/1/Memoire-Chabane.pdf>, 2018.
- [20] <https://www.iceshop.fr/guide/pourquoi-avoir-une-chambre-froide/>, «iceshop».
- [21] [https://fr.icemakerchina.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-direct-cooling-and-air-cooled-cold-storage\\_b10](https://fr.icemakerchina.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-direct-cooling-and-air-cooled-cold-storage_b10).
- [22] M. M. rachid, Choix des fluides frigorigènes utilisés, 2013/2014.
- [23] N. M. E. e. M. Abderrazak, Etude et comparaison numérique des fluides frigorigènes utilisés pour, Ain temouchent, 2021/2022.
- [24] R. D. R. AILAS Abdelkrim, Etude chambre froide a température positive, Ain temouchent, 2018/2019.
- [25] « <https://www.intarcon.com/fr/choisir-le-gaz-refrigerant-pour-votre-equipement/> ».