

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA -  
FACULTÉ DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUÉES  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE



Réf : ...../UAMOB/F.SSA/DEP.GM/2017

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER 2**

*Option : Génie climatique et frigorifique*

*Thème*

*Etude et dimensionnement d'un centre de dépôt frigorifique*

**Présenté par : ABBAS Djamel & HOCINE Ali**

**Encadrement : BOUREGBI Lakhdar**

**Président du Jury : A. Laouari**

**Membre de jury : T. Messai**

**Soutenu le : 28/09/2017**

**Année Universitaire : 2016/2017**

# *Remerciements*

*Je remercie tout d'abord dieu le tout puissant*

*Mes parents et tout les membres de la famille, Sans oublier  
mes camarades de classe climatique et tous les amis de ma  
région, et bien sure mes profs et parmi eux mon promoteur Mr  
Bouregbi Lakhdar et bien sure mon collègue Djamel*

*Hocine Ali*



# *Remerciements*

*Je remercie tout d'abord dieu le tout puissant*

*Mes parents et ma femme pour leur soutien permanent*

*Sans oublier mes profs et mes camarades de classe qui m'ont chaleureusement accueilli cette année de master 2, ils m'ont vraiment facilité la tâche de l'intégration parmi eux notre promoteur Monsieur Bouregbi Lakhdar, Mr Messai Tarek et la demoiselle Massiva Boudane.*

*Sans oublier aussi mon collègue Hocine Ali qui a vraiment souffert avec moi et de mon absence. Merci Ali d'être aussi compréhensif.*

*Djamel*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce simple travail à ma chère famille , mes parents mes frères et sœurs ainsi que ma tante qui n'ont jamais hésité à me donner le courage et la force pour travailler et aller de l'avant pour enfin arriver à concrétiser ce rêve d'être diplômé en master 2.*

*Hocine Ali*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce simple travail à ma chère famille qui m'ont soutenu le long de  
mon parcours*

*Mes parents ma chère femme et mes deux anges jeunes et Célia.*

*Sans oublier mes profs et mes camarades de classe qui m'ont chaleureusement  
accueilli cette année de master 2, ils m'ont vraiment facilité la tâche de  
s'intégrer parmi eux surtout mon binôme Hocine Ali.*

*Abbas Djamel*

# Table des matières

Introduction.....	01
I.1. C'est quoi le froid .....	02
I.1.1 Introduction .....	02
I.1.2 La Définition de froid.....	03
I.2 La méthode d'obtention du froid.....	03
I.3 Théorie du froid.....	04
I.3.1 Le cycle frigorifique .....	04
I.3.2 Rendement du cycle .....	05
I.4. Les machines frigorifiques .....	06
I.4.1. La machine frigorifique .....	06
I.4.2. La machine frigorifique par compression mécanique.....	07
I.4.2.1 Le compresseur .....	07
I.4.2.2. Le condenseur.....	08
I.4.2.3 Le détendeur .....	09
I.4.2.4 L'évaporateur .....	09
I.5 Fluide frigorigène .....	10
I.5.1. Définition fluide frigorigène .....	11
I.5.2 Les types fluides frigorigènes utilisés .....	11
I.5.3 Classification des fluides frigorigène en group de sécurité.....	11
I.5.3.1 Classement de la toxite des fluides.....	12
I.5.3.2 classement de l'inflammabilité des fluides .....	13
I.5.4 Choix du fluide frigorigène .....	13
I.2 Les chambres froides.....	14
I.2.1 Introduction .....	14

I.2.2 Définition de chambre froide .....	15
I.2.3 Objectif d'utilisation de chambre froide .....	15
I.2.4 Les catégories de chambre froide .....	16
1.2.5 Les types de chambre froide .....	17
I.2.5.1 La chambre froide positive .....	17
I.2.5.2 La chambre froide négative .....	17
I.2.5.3 La surgélation .....	17
II Présentation du projet.....	18
II.1 But de travail .....	18
II.1.1 Problématique .....	18
II.2 Description du projet.....	18
II.2.1 Dimension de la chambre .....	18
II.2.2 Température de chambre froide .....	19
II.2.3 Schéma la chambre froide .....	22
2.2.4 Description et conception de la chambre froide .....	22
II.3 L'isolation de la chambre froide .....	22
II.3.1 Généralités sur l'isolation .....	22
II.3.2 Les types d'isolants .....	22
II.3.3 Les normes d'isolation .....	24
II.3.4 Le choix de l'isolant pour la chambre froide .....	24
II.4 Les produits à conserver dans les chambres .....	25
II.4.1. La pomme .....	25
II.4.2. La viande .....	26
II.5 Lieu de l'installation de la chambre froide .....	27
II.5.1 Conditions de base de la région .....	27
III.1. Calcul des charges thermiques des chambres froides .....	28
III.1.1 Généralités .....	28

III.1.2 Calcul des charges thermiques externes.....	29
III.1.2.1 Charges thermiques par transmission.....	29
1.2.2 Charges thermiques par renouvellement d'air $Q_{ren}$ : .....	29
1.2.3 Charge thermique par ouverture des portes ( $Q_{op}$ ) .....	30
III.1.3 Charges thermiques internes.....	30
1.3.2 Charges thermiques dues aux personnes (aux occupants) $Q_{per}$ .....	31
1.3.3. Charges thermiques dues aux matériels roulants et machines diverses .....	31
1.3.4. Charges thermiques dépendantes de produits entreposés.....	30
1.3.5. Puissance frigorifique intermédiaire de l'évaporateur $Q_{INT}$ .....	31
1.3.6. Charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs .....	32
III.2 Calcul chambre froide positive.....	33
III.2.1. Rôle de la chambre froide .....	34
III.2.2 Calcul des charges thermiques .....	34
III.2.3. Charge thermique interne .....	34
2.3.2 Surface intérieur de la chambre .....	35
2.3.3. Charge thermique par ouverture des portes $Q_{OP}$ .....	36
2.3.4. Calcul des charges thermique internes.....	37
2.4 Représentation graphique de la chambre positive.....	43
III.3 Calcul chambre froide négative .....	44
III.3.1 Rôle de la chambre froide .....	44
III.3.2 Charge thermiques internes .....	44
III.3.3 Calcul des charges thermique internes .....	47
3.4 Représentation graphique de la chambre négative.....	50
III.4 Calcul SAS.....	51
III.4.1. Dimensions .....	51
4.2. Conditions thermiques .....	51

4.3. Surface intérieur de la chambre .....	51
4.4. Charge thermique par ouverture des portes $Q_{OP}$ .....	52
4.5. Calcul des charges thermique internes .....	52
III.5 Représentation graphique de la chambre SAS .....	56

### **Liste des tableaux**

Tableau (1.1): Températures de conservation des denrées.....	17
Tableaux (1.2) : Températures maximales de conservation des denrées.....	19
Tableaux (2.1) : Dimensions la chambre froide utilisé.....	20
Tableaux (2.2) : Différentes températures des chambres.....	21
Tableaux (3.1) : Résistance thermique superficiel des parois d'une chambre froide .....	34
Tableaux (3.2) : Valeurs des coefficients de transmission thermique $k$ ( $w/m^2$ ).....	35
Tableaux (3.3) : Calcule la quantité de chaleur échangée a travers les parois( $Q_{tp}$ ).....	36
Tableaux (3.4) : Quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne activité moyenne donne une chambre froide.....	38
Tableaux (3.5): Les différentes charges sur la chambre positive.....	39
Tableaux (3.6) : Résultats de calcul chambre positive.....	42
Tableaux (3.7) : Résistance thermique superficiel des parois d'une chambre froide.....	44
Tableau (3.8) : Coefficients de conductibilité thermique des isolants utilisés pour le Murs des chambres froide traditionnelles.....	45
Tableau (3.9) : Valeurs des coefficients de transmission thermique $k(w/m^2)$ .....	45
Tableaux (3.10) : Calcule la quantité de chaleur échangée a travers les parois( $Q_{tp}$ ).....	46
Tableau (3.11) : Quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne activité moyenne donne une chambre froide.....	48
Tableaux (3.13) : Calcule la quantité de chaleur échangée a travers les parois( $Q_{tp}$ ).....	51
Tableaux (3.14) : Quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne activité moyenne donne une chambre froide.....	53

Tableaux (3.15) : Les différentes charges sur la chambre SAS.....	55
---	----

### **Liste des figures**

Figure (1.1) : Principe de Production du froid.....	2
Figure (1.2) : Schéma de la machine frigorifique de base.....	4
Figure (1.3): Cycle frigorifique de référence.....	5
Figure (1.4) : Les cycles frigorifiques.....	6
Figure (1.5) Cycle frigorifique de Carnot.....	7
Figure (1.6) : Schéma cycle machine frigorifique.....	8
Figure (1.7) : Compresseur semi-hermétique à piston.....	9
Figure (1.9) : Schéma condenseur.....	10
Figure (1.10):Schéma détente.....	11
Figure (1.11) : Schéma évaporateur.....	11
Figure (1.12) : Chambre froide .....	16

### **Liste des diagrammes:**

Diagramme (3.1) : frigorifique de la chambre froide positive.....	43
Diagramme (3.2) : frigorifique de la chambre froide négative.....	53
Diagramme (3.3) frigorifique du SAS.....	61

## 1.1 INTRODUCTION

Le froid trouve de nombreuses applications dans des domaines très variées (industries 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.

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 produits 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 microorganismes. 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...).

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.

L'avancée technologique de nos jours qui autorise un contrôle plus précis de la température et de l'humidité permet d'améliorer la production du froid.

L'utilisation des atmosphères artificielles permet d'augmenter la durée de conservation de certains fruits et légumes, de même l'utilisation d'adjuvants permet de renforcer l'action du froid mais leur utilisation doit être conforme à la législation nationale relative à la protection des aliments.

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...).

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).

## Chapitre I

### Généralités sur le froid et la chambre froide

#### I.1. C'est quoi le froid :

##### I.1.1 Introduction :

C'est peut-être pour cela que l'histoire parle d'avantage de la découverte et de la maîtrise du feu par l'homme et oublie celle du froid domestiqué. Alors rendons au froid ses lettres de noblesse. Car on ne compte plus les services qu'il nous rend dans notre vie quotidienne.

Très vite, l'homme s'est demandé comment conserver ses aliments. Il s'est rendu compte que l'hiver ses cueillettes et sa chasse se conservaient plus longtemps qu'en été. C'est ainsi qu'il comprit que le froid permettait de ralentir l'état de dégradation des aliments.

Dans les pays froids, on creuse pour enfouir les aliments dans la neige. On creuse également des réservoirs pour conserver la glace le plus longtemps possible.

Au moyen âge, on conservait les aliments dans les caves des châteaux. Avant le milieu du XIXe siècle, l'utilisation humaine du froid se fait par l'exploitation de la glace naturelle. Des l'Antiquité, la glace et la neige sont utilisées pour parfois conserver des viandes autrement que par la salaison, le fumage ou la saumure mais aussi, et déjà, pour déguster des mets glacés.

Au XVIe siècle, le commerce de la glace prend un grand essor. Un peu pour la conservation momentanée de certains produits alimentaires mais surtout pour la dégustation de glaces et sorbets parfumés. Dégustation réservée aux plus riches, car la glace est alors un produit de luxe.

La glace des étangs et cours d'eau était collectée pendant l'hiver et entreposée dans des édifices spécialement conçus qui sont appelés glacières. Elles utilisent le principe du thermos.

Une glacière a une ouverture le plus souvent située au ras du sol et orientée au nord. Un tunnel descendant en pente douce mène à la réserve de glace proprement dite, un puits de forme circulaire assez profond. Elle est hermétiquement close et relativement bien protégée des variations thermiques. On y vient avec précaution prélever ce qui est nécessaire.

La glace des glaciers a été, également, longtemps exploitée comme matière première.

A la fin du 19<sup>e</sup> siècle, l'invention de machines pour la production artificielle de la glace provoquera la faillite de cette activité industrielle et la fin de l'exploitation de la glace naturelle.

Pour produire de la glace, il faut obtenir du froid. Mais on ne fabrique pas vraiment du froid : en fait, on retire de la chaleur. Ainsi, le principe d'une machine de réfrigération est de prendre de la chaleur à l'endroit où l'on veut créer du froid, de transporter cette chaleur à l'extérieur et de la rejeter.

En 1756, William Cullen donna la première démonstration publique d'un processus artificiel de refroidissement. Cullen utilisait une pompe afin de créer un vide dans un contenant rempli d'éther. En retirant de la chaleur de son environnement, il commença à bouillir. Cela mena à la formation d'une petite quantité de glace. Mais ce processus ne connut pas d'application commerciale. Pas à pas, la technique de refroidissement évolua mais il est resté longtemps au niveau des expérimentations individuelles.

C'est seulement en 1869 que Charles Tellier développa la première installation pouvant servir à conserver les aliments. Vers les années 1920, une machine à absorber le froid est inventée en Suède. Cela est une grande avancée technologique. En 1922, un modèle (composé d'une boîte en bois, d'un compresseur refroidi à l'eau et d'une feuille pour conserver la glace) est lancé sur le marché.

### **I.1.2 La Définition de 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  $T_b$

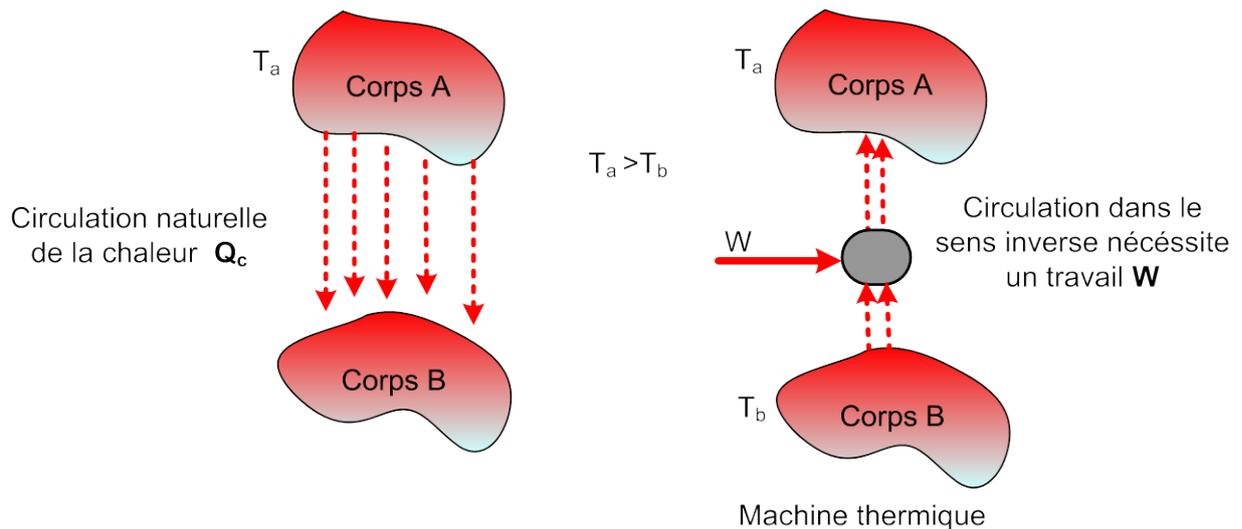


Figure (1.1) : principe de production du froid.

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  $T < 0^{\circ}\text{C}$

## I.2 La méthode d'obtention du froid

### Modes de production de froid :

Toute transformation endothermique peut constituer un procédé capable de produire du froid.

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

Parmi les différentes modes de production du froid, il faut retenir :

- ✓ La sublimation d'un solide (cas du  $\text{CO}_2$ )
- ✓ La détente d'un gaz comprimé
- ✓ La fusion d'un corps solide
- ✓ Le refroidissement thermoélectrique
- ✓ La dissolution de certains sels
- ✓ La désaimantation adiabatique
- ✓ La vaporisation d'un liquide en circuit fermé

- a) **Sublimation d'un solide** : 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  $-78.9^{\circ}\text{C}$ .
- b) **Détente d'un gaz comprimé** : 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.
- c) **Fusion d'un corps solide** : 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.
- d) **Refroidissement thermoélectrique** : 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.
- e) **Dissolution de certains sels** : La dissolution d'un sel dans l'eau provoque un abaissement de la température de la solution. Ce n'est pas un phénomène très utilisé dans l'industrie frigorifique à cause de la nécessité de vaporisation ultérieure de l'eau (récupération du sel). Par exemple, le mélange de neige (4 parties) et de potasse (3 parties) fait baisser la température de la solution de  $0^{\circ}\text{C}$  à  $40^{\circ}\text{C}$ .
- f) **Désaimantation adiabatique** : La désaimantation adiabatique consiste en une réorganisation du cortège électronique d'un corps, ce qui permet l'obtention de très basses températures ( $102$  à  $106\text{ K}$ ).

- g) **Vaporisation d'un liquide en circuit fermé** : La vaporisation d'un liquide permet de produire du froid par l'absorption de la chaleur à travers un échangeur (évaporateur), la vapeur produite étant ultérieurement liquéfiée dans un autre échangeur (condenseur), le fluide décrit ainsi un cycle au sein d'une machine fonctionnant de manière continue.

**Remarque** : La vaporisation d'un liquide en circuit fermé reste la méthode la plus utilisée pour la production du froid

## I.3 Théorie du froid

### I.3.1 Le cycle frigorifique

#### a) 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.

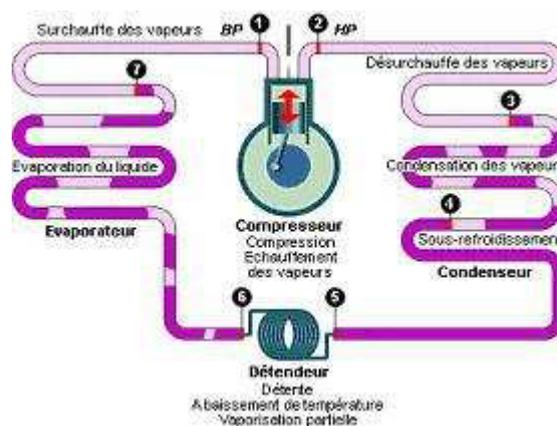


Figure (1.2) : Schéma de la machine frigorifique de base

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.

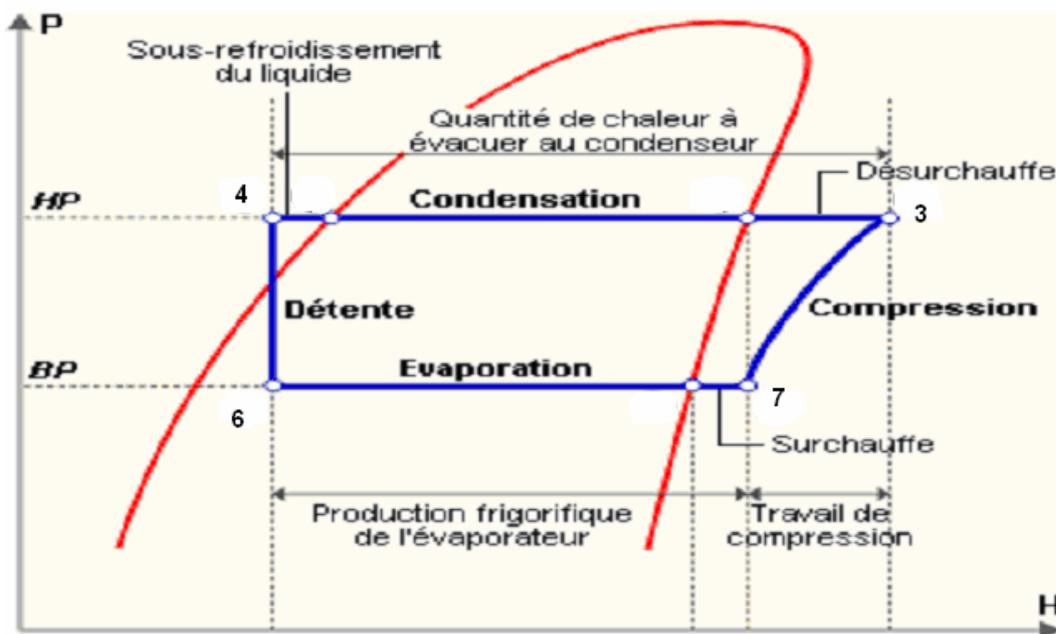


Figure (1.3): Cycle frigorifique de référence.

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.

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.

### **b) Le cycle théorique**

Ce cycle qui est représenté par le diagramme **1-2-3-4** (cf. figure 1) 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

### **c) Le cycle parfait**

Ce cycle qui est représenté par le diagramme **1'-2'-3'-4'** (cf. figure 7.2) 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'

**d) Le cycle réel**

Ce cycle qui est représenté par le diagramme 1''-2''-3'-4' (cf. figure 7.2) 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.

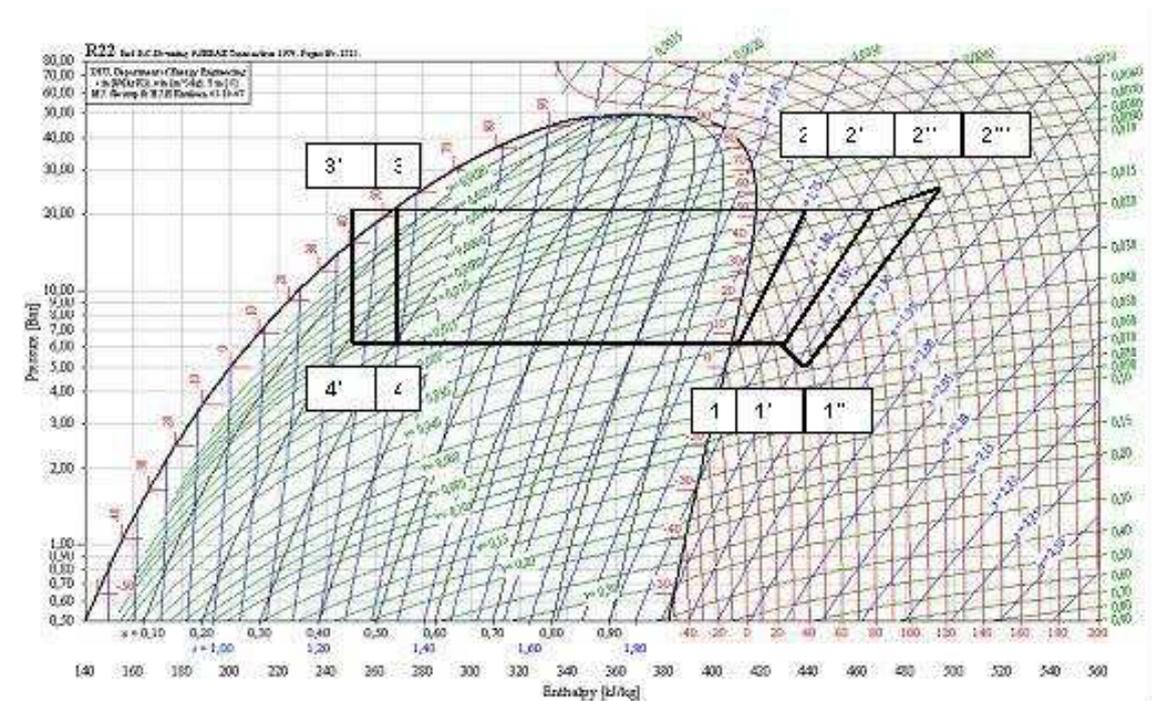


Figure (1.4) : Les cycles frigorifiques.

- Cycle frigorifique de Carnot :

Le cycle de Carnot est composé de deux isothermes et de deux adiabatiques.

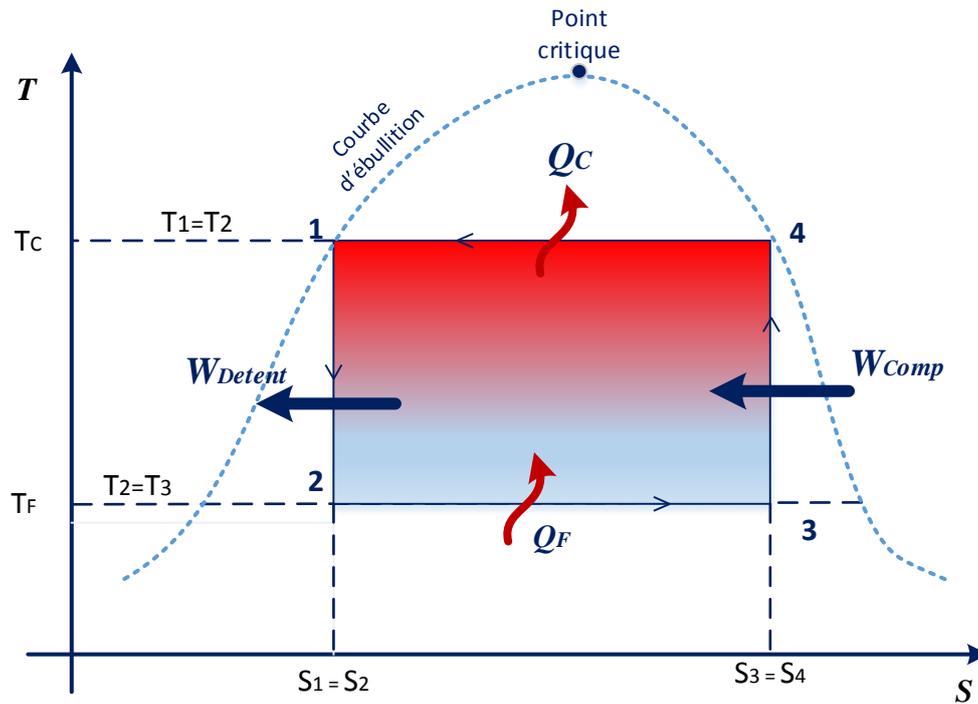


Figure (1.5) Cycle frigorifique de Carnot

$$1^{\text{er}} \text{ principe : } W + Q_O + Q_K = 0$$

$$2^{\text{eme}} \text{ principe : } Q_O = T_0(S_C - S_D)$$

$$Q_K = T_K(S_A - S_B)$$

Or :

$$S_A = S_D \text{ et } S_B = S_C \text{ soit :}$$

$$W = -(Q_O + Q_K)$$

$$W = -[T_0(S_C - S_D) + T_K(S_A - S_B)]$$

$$W = -[T_0(S_B - S_A) + T_K(S_A - S_B)]$$

$$W = -(S_B - S_A)(T_0 - T_K)$$

Or :  $S_A < S_B$  et  $T_0 < T_K$  donc  $W > 0$

### I.3.2 Rendement du cycle :

En pratique il apparaît toujours des phénomènes irréversibles. Le travail  $W_{irr}$  nécessaire pour réaliser l'effet frigorifique  $Q_0$  est toujours supérieur au travail calculé théoriquement (Carnot) :

$$\frac{Q_0}{W_{irr}} = \frac{Q_0}{W_{th}}$$

Le cycle est composé de quatre transformations successives :

1. Compression isotherme réversible (C→D) / (3→4)
2. Compression adiabatique réversible (D→A) / (4→1)
3. Détente isotherme réversible (A→B) / (1→2)
4. Détente adiabatique réversible (B→C) / (2→3)

Le deuxième principe de la thermodynamique permet d'établir pour une transformation réversible (car le fluide est à la température de la source) l'égalité de Clausius Carnot :

$$\frac{Q_f}{T_f} = \frac{Q_c}{T_c} = 0$$

Avec :

- $Q_f$  transfert thermique avec la source froide (compté négativement).
- $Q_c$  transfert thermique avec la source chaude (compté positivement).
- $T_f$  température de la source froide, constante (en k).

$T_c$  Température de la source chaude, constante (en k)

## I.4. Les machines frigorifiques

**I.4.1. La machine frigorifique :** Le rôle d'une machine frigorifique est d'extraire de la chaleur à une source froide. On utilise pour cela un fluide frigorigène. Lors de l'évaporation d'un fluide, il y a absorption de chaleur qui correspond à la chaleur latente de vaporisation.

On fait décrire au fluide le cycle suivant composé de deux isobares et deux adiabatiques (voir schéma ci-dessus)

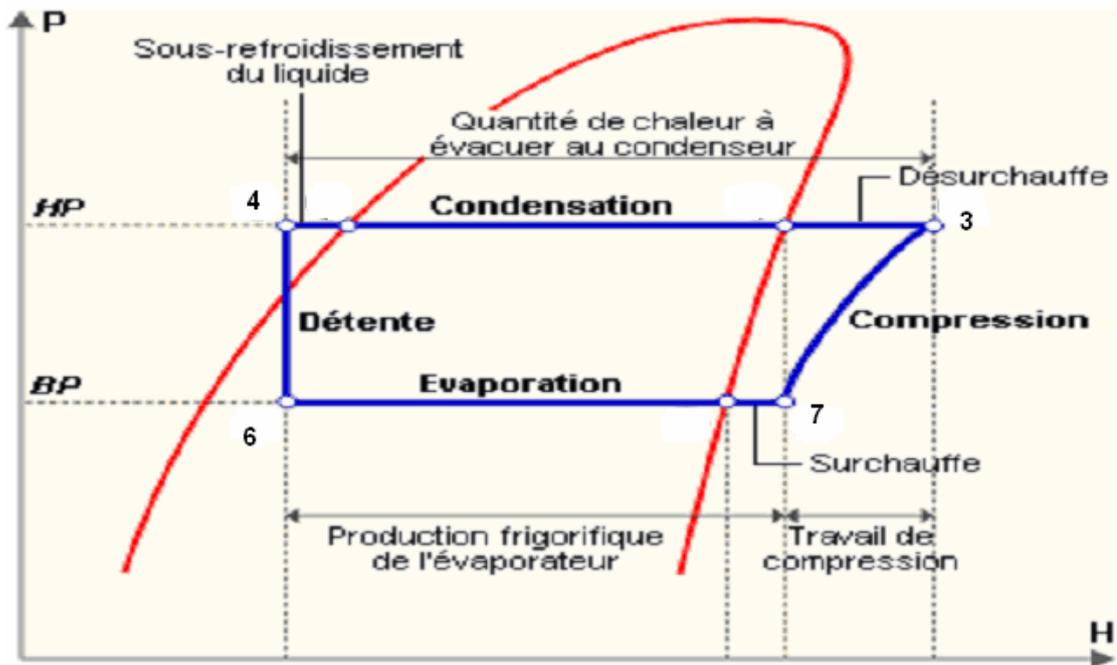


Figure (1.6) : Schéma cycle machine frigorifique

- Le fluide frigorigène se vaporise à la température  $T_0$  et à la pression  $P_0$  en prélevant la quantité de chaleur  $Q_f$  dans l'évaporateur.
- La vapeur est comprimée et refoulée la pression  $P_1$  par le compresseur.
- Dans un deuxième échangeur de chaleur la vapeur est condensée à la pression  $P_1$  et la température  $T_1$  constantes, en rejetant la chaleur  $Q_C$  dans le condenseur.
- Le liquide est détendu de la pression  $P_1$  à la pression  $P_0$  par une valve de détente

Il existe plusieurs types de machines frigorifique :

- La machine a absorption
- La machine a injection de vapeur
- La machine a adsorption
- La machine a compression mécanique

Ces machines sont les plus répandues consommant exclusivement de l'énergie mécanique.

#### I.4.2. La machine frigorifique par compression mécanique :

Pour Obtenir une basse température donnée dans l'évaporation, il nécessaire de produire la pression d'évaporation correspondante, cette pression obtenue a l'aide d'un compresseur qui évacue la vapeur qui se dégage lors de l'ébullition du fluide frigorigène.

Une installation frigorifique à compression mécanique comporte quatre éléments principaux :

- le compresseur
- le condenseur
- l'évaporateur
- le détendeur

#### I.4.2.1 Le compresseur

Pour fonction de comprimer le fluide frigorigène d'un niveau de pression d'évaporation faible à un niveau de pression de condensation élevée. Il doit en effet garantir le débit de transport nécessaire (débit massique) pour la puissance frigorifique requise.

On distingue 3 principaux types de compresseurs utilisés pour la production de froid ou de chaleur :

- ✓ **Compresseurs à piston** : on utilise un ou plusieurs pistons coulissants de manière étanche dans un cylindre pour comprimer le fluide frigorigène, admis dans le cylindre par l'intermédiaire d'un clapet ou d'une soupape, grâce à l'aspiration provoquée par le recul du piston.

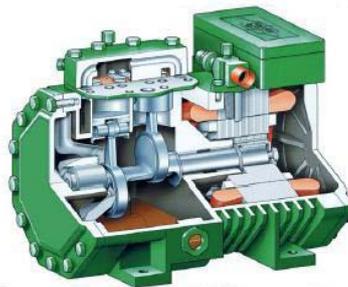


Figure (1.7) : Compresseur semi-hermétique à piston

- ✓ **Compresseur à vis** : Une vis sans fin tourne pour comprimer le gaz entre le cylindre et une pièce rotative qu'elle entraîne.
- ✓ **Compresseur scroll** : Un rotor sous forme de spirale comprime le gaz en continu en tournant **autour** d'une autre spirale fixe.

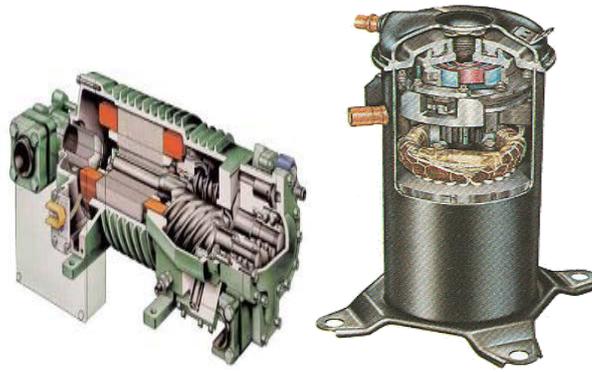


Figure (1.8) : Schéma Compresseur à vis compresseur scroll (source Copland)

#### I.4.2.2. Le condenseur

Le condenseur sert à transmettre au médium de refroidissement (air et eau) La chaleur contenue dans les vapeurs par le compresseur. La quantité de chaleur à évacuer comprend :

- La chaleur latente de liquidation
- La chaleur sensible des vapeurs surchauffées
- La chaleur sensible du liquide jusqu'à une température se rapprochant le plus possible de celle des médiums de refroidissement.

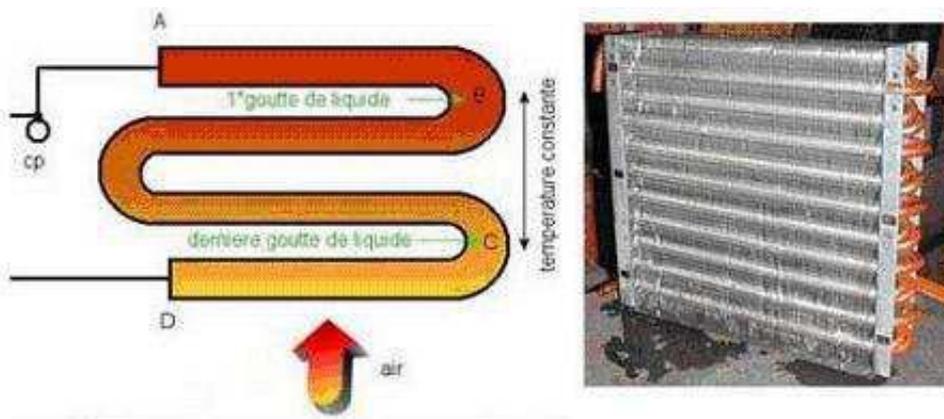


Figure (1.9) : schéma condenseur

### I.4.2.3 Le détendeur

Est un élément passif du circuit frigorifique mais essentiel pour réaliser le cycle de compression/détente permettant de transférer les calories ou frigories de l'évaporateur au condenseur.



Figure (1.10) : schéma détente

### I.4.2.4 L'évaporateur

Les évaporateurs sont des échangeurs thermiques au même titre que les condenseurs, ils assurent le passage du flux thermique du milieu à refroidir au fluide frigorigène, ce flux thermique ayant pour effet de vaporiser le frigorigène liquide qui est contenu à l'entretien de l'évaporateur. L'évaporateur se fait à température constante par libération de sa chaleur latente de vaporisation de flux thermique contrairement au condenseur évaporateur

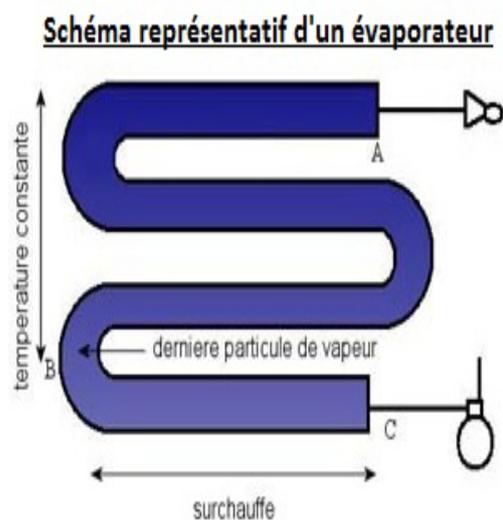


Figure (1.11) : Schéma évaporateur

## I.5 Fluide frigorigène

### I.5.1. Définition fluide frigorigène

Un fluide frigorigène est un fluide qui permet la mise en œuvre d'un cycle frigorifique. Il peut être pur ou être un mélange de fluides purs présents en phase liquide, gazeuse ou les deux à la fois en fonction de la température et de la pression de celui-ci. Ici les fluides frigorigènes sont utilisés dans les systèmes de production de froid (climatisation, congélateur, réfrigérateur etc.)

### I.5.2 Les types fluides frigorigènes utilisés

Les fluides frigorigènes sont des substances ou des mélanges de substances, utilisés dans les circuits de systèmes frigorifiques tels que: des chambres froides, des réfrigérateurs, des vitrines réfrigérées. Les fluides frigorigènes ont la particularité d'avoir sous la pression atmosphérique, une température d'évaporation très faible. Cette propriété thermodynamique permet de produire du froid et du chaud.

Les fluides peuvent être classés en quatre familles:

#### a) Famille des fluides inorganiques purs

Les fluides de cette famille sont principalement composés :

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

<b>FLUIDES INORGANIQUES PURS</b>		
R717	R718	R744

#### b) Famille des Fluides Hydrocarbures

Les fluides de cette famille peuvent être composés :

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

<b>FAMILLE DES FLUIDES HYDROCARBURES</b>				
RC270	R290	R600	R600a	R1270

### c) Famille des fluides Hydrocarbures halogénés

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

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

- **LES CFC (Chloro-Fluor-Carbures)**

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

CFC				
R11	R12	R113	R115	R502

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

Il s'agit de la seconde génération d'hydrocarbures halogénés utilisés en tant que fluides frigorigènes. Ce sont des composants chimiques formés de chlore, de fluor,

D'hydrogène et de carbone. Ils sont dangereux pour l'environnement et feront l'objet d'une interdiction vers 2015

HCFC								
R12	R22	R123	R124	R142b	R401A	R402A	R408A	R409A

- **LES HFC (Hydro Fluoro Carbures)**

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

HFC								
R32	R125	R134a	R143a	R152a	R404a	R407c	R410A	R507

### d) Famille des autres fluides

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

- Les éthers oxydes

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

Autres fluides			
R630	R631	R12B1	R13B1

### I.5.3 Classification des fluides frigorigène en group de sécurité :

Cette classification est présentée par deux caractères alphanumériques, par exemple A2.

La lettre majuscule correspond à la toxicité et le chiffre à l'inflammabilité du fluide.

#### I.5.3.1 Classement de la toxite des fluides :

On distingue deux groupes A et B :

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

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

#### I.5.3.2 classement de l'inflammabilité des fluides :

On distingue trois groupes 1, 2 et 3 :

- **Le groupe 1** : le fluide frigorigène ne permet pas de propagation de la flamme dans à 21°C et 101kPa.

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

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

### I.5.4 Choix du fluide frigorigène :

Dans notre étude On choisit d'utiliser le fluide frigorigène R-134A, grâce à ces Caractéristiques et applications suivantes :

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

#### FICHE TECHNIQUE

CAS N. 811-97-2

CEE N. 212-377-0

ASHRAE N. R-134a

Nom chimique 1,1,1,2- Tetrafluoroéthane

Formule chimique C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>F<sub>4</sub>

#### PROPRIETES

Poids moléculaire	g/mol	102
Tension de vapeur (à 20°C)	K Pa	571,7
Point de congélation	°C	-96,6
Température d'ébullition (à 101,3 k Pa)	°C	-26,1
Température critique	°C	101
Densité liquide à 20°C	Kg/m <sup>3</sup>	1225
Densité vapeur à 20°C	Kg/m <sup>3</sup>	27,78
Acidité	Ppm	≤ 1
Impuretés (à point d'ébullition élevée)	% v/v	≤ 0,01

GARANTIES

Pureté	% p/p	$\geq 99,9$
Incondensables en phase vapeur	% v/v	$\leq 1,5$
Humidité	Ppm	$\leq 10$

**I.2 LES CHAMBRES FROIDES****I.2.1 Introduction :**

Depuis une éternité, l'homme a prospecté plusieurs méthodes pour conserver sa nourriture, entre le moment où les denrées sont possédées, cueillies ou récoltées et celui de la consommation. En effet, la conservation alimentaire vise à traiter les aliments de telle manière qu'ils ne se détériorent pas. Les procédés de conservations les plus variés ont été appliqués depuis des siècles : salage, fumage (salaison), boucanage (viandes ou poissons séchés), enrobage (confits), sucrage (confitures), acidification (conservation au vinaigre). Dans ces procédés, le froid ou la chaleur interviennent comme agents de conservation, néanmoins, l'association de plusieurs technologies conduit à mieux préserver les qualités originelles et les saveurs des produits, tout en corrigeant la sécurité à la consommation.

A l'ère médiévale, pendant l'hiver, la glace des lacs et des rivières était découpée et conservée jusqu'à l'été dans des puits ou des caves profondes. Cette glace servait à rafraîchir et conserver les aliments en été. Aujourd'hui grâce à la technologie, il nous suffit de mettre nos aliments dans un réfrigérateur pour les maintenir au frais et éviter leur dégradation. Un réfrigérateur est un appareil qui sert à refroidir des corps en leur prenant de la chaleur qu'ils rejettent ensuite. Dans la cuisine, le réfrigérateur domestique sert à conserver les aliments en ralentissant la dégradation et en limitant le développement des micro-organismes. Le réfrigérateur domestique a été inventé en 1876 par Carl Paul Gottfried Von Linde, un ingénieur allemand. D'autres inventeurs s'attribuent cette reconnaissance, parce que cette technologie a mis du temps à se développer. Le premier réfrigérateur fabriqué industriellement, en 1913 par Frederick William Wolf de Chicago. Le réfrigérateur à absorption de gaz, qui se refroidit par l'utilisation d'une source de chaleur, a été inventé en Suède par Bal tzar Von Patten en 1922. Plus tard il a été fabriqué par Electrolux et Serval.

### I.2.2 Définition de chambre froide



Figure (1.12) : Chambre froide

Une chambre froide est une pièce équipée d'installations frigorifiques, utilisée pour stocker des denrées périssables. (Anglais cold store). Une chambre froide peut être à température négative ( $-10^{\circ}$ ,  $-20^{\circ}$ ,  $-30^{\circ}$ ) ou température positive ( $> 0^{\circ}$ )

Le meuble frigorifique représente le dernier maillon de la chaîne du froid alimentaire avant que la denrée ne se retrouve entre les mains du consommateur.

A ce stade, la mise en valeur des denrées alimentaires est primordiale tout en assurant leur conservation. En d'autres termes, le meuble frigorifique a donc pour mission de présenter ou d'exposer les denrées dans un volume utile à une température de conservation déterminée.

A chambre froide fait partie d'une chaîne de froid normalement ininterrompue, cet équipement est donc prévu et dimensionné, pour maintenir la température des denrées et non les refroidir.

Dans une chaîne de froid alimentaire classique, le refroidissement ou la congélation s'effectue à la production ou à la fabrication. Les étapes suivantes de la chaîne de froid n'ont plus qu'une action de maintien de la température par exemple :

- le camion ou le bateau frigorifique lors du transport
- la chambre froide du magasin lors du stockage

Deux fonctions sont donc attribuées aux meubles frigorifiques :

- la fonction d'exposition
- la fonction de conservation.

### I.2.3 Objectif d'utilisation de chambre froide :

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

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

Tableau (1.1): températures de conservation des denrées

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

Les chambres froides évitent :

- ✓ Les pertes de couleurs du produit.
- ✓ Les pertes de qualité du produit.
- ✓ Les pertes de valeur.
- ✓ Les pertes de poids des produits entreposés.

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

primordiale sur la qualité des produits distribués et la protection du consommateur. Les calculs d'une chambre froide doivent satisfaire à trois conditions suivant le produit à traiter :

- La température
- L'hygrométrie
- La ventilation

La grandeur physique fondamentale est La température. Ainsi existe-t-il deux types de chambres froides selon La température à l'intérieur du milieu à refroidir :

- les chambres froides positives
- les chambres froides négatives.

#### **I.2.4 Les catégories de chambre froide**

On distingue trois catégories de chambre froide :

**1) Les chambres froides traditionnelles :** le local de ce type est fabriqué en maçonnerie, mais avec double mur de chaque cote pour bien abaisser le transfert thermique et pour protéger cette isolation, il faut placer un écran par vapeur

**2) Les chambres froides préfabriquées indémontables :** les parois de ce type de chambre froide est fabriquée en usine et le montage définitif se fait sur chantier à l'aide de cadres métalliques et un système spécial de fixation

**3) Les chambres froides préfabriquées démontables :** ce type de chambre froide est composé de panneaux sandwich peuvent être rassemblés et démontés plusieurs fois et la fixation se fait par une clé qui serre les panneaux entre elle finie par un joint isolant l'avantage de ce type la possibilité de déplacer la chambre froide en autre place facilement.

#### **1.2.5 Les types de chambre froide**

On trouve deux classes selon la température :

##### **I.2.5.1 La chambre froide positive :**

Lorsque on veut stocker des denrées alimentaire, laquelle la température de conservation est inférieur a dix degrés degré Celsius 10, on utilisé une chambre froide positive.

	<i>Domaine d'application</i>	<i>Plage de température</i>
Chambre froide positive	Local de préparation froide	10 à 12 °C
	Local de réserve sèche	16 à 20 °C
	Chambre de réfrigération	0 à 8°C
	Chambre de fruits et légumes	7 à 15°C
	Local poubelle	9 à 11°C

Tableau (1.2) : températures maximales de conservation des denrées

La conservation en chambre froide positive freine les phénomènes vitaux des tissus vivants, tels que ceux des fruits et légumes et des tissus morts en ralentissant les métabolismes biochimiques. Elle ralentit considérablement l'évolution microbienne et les conséquences de celles-ci (putréfaction, toxines, etc.)

### **I.2.5.2 La chambre froide négative :**

Lorsque on veut stocker des produits dont la température de conservation est inférieure à dix-huit degrés Celsius, on utilise une chambre froide négative. On les appelle aussi chambres de congélation.

### **I.2.5.3 La surgélation :**

La congélation peut être suivie d'une surgélation ou congélation rapide. La surgélation des denrées consiste à soumettre à celles-ci à l'action du froid à basse température, de façon à provoquer rapidement la cristallisation de l'eau de la denrée et abaisser sa température à une valeur suffisamment basse pour que la proportion d'eau non congelée soit très faible. Les conditions qui motivent la surgélation sont:

- Produits dans un très bon état de fraîcheur et d'hygiène.
- Délai avant congélation réduite
- Congélation rapide jusqu'à -18 °C
- Stockage et distribution à une température supérieure à -18°C
- Vente de denrées au consommateur à l'état congelé

## Chapitre II

### Présentation du projet

## II Présentation du projet

### II.1 But de travail :

#### II.1.1 Problématique :

Quelque soit la nature du produit alimentaire, animale ou végétale Les producteurs et les distributeurs qui ne s'inquiètent pas, du traitement, et de la conservation de ces derniers, ne peuvent répartir leurs ventes, qui sur une période limite le reste de l'année est donc considéré Comme une période creuse, ou les rentes d'argent sont presque inexistantes. Ceci souligne pour l'exploitant de disposer d'aménagement de locaux, spéciaux, pour le traitement, et la conservation.

Quelque soient les procédés employés, le traitement et la conservation ont pour objet d'éviter des pertes de produit, par suite de chaleur, et d'humidité, et donc d'assurer une alimentation plus variée.

Dans notre cas, on va essayer de dimensionner notre chambre froide selon des différentes données géographiques, climatiques et thermodynamiques.

Pour cela on va étudier un entrepôt frigorifique centralisé composé de trois (3) chambres froides, une pour la conservation de la pomme à une température positive à 6 °C, et une autre pour la conservation de la viande à une température négative a -18 °C plus un SAS qu'on veut à 15°C

## II.2 Description du projet

### II.2.1 Dimension de la chambre :

Une chambre froide est caractérisée par ces dimensions, c'est-à-dire sa longueur, largeur et sa hauteur. Cette chambre est répartie en deux chambres avec SAS. Voir tableaux ci-dessous :

Désignations	Longueur	Largeur	Hauteur
<b>Chambre positive</b>	12 m	10 m	4 m
<b>Chambre négative</b>	6 m	10 m	4 m
<b>SAS</b>	12 m	3 m	4 m
<b>Portes</b>	/	1,5 m	2 m

Tableaux (2.1) : dimensions la chambre froide utilisé

### II.2.2 Température de chambre froide :

Les différentes températures des chambres et SAS sont représenté dans le tableau ci-dessous :

	Température extérieure $(T_{ex})$	Température intérieure $(T_i)$	Différent température $\Delta T = T_{ex} - T_i$
<b>Chambre froide positive</b>	45°	+6°	39°
<b>Chambre froide négative</b>	45°	-18°	63°
<b>SAS</b>	45°	15°	30°

Tableaux (2.2) : différentes températures des chambres

### II.2.3 Schéma la chambre froide

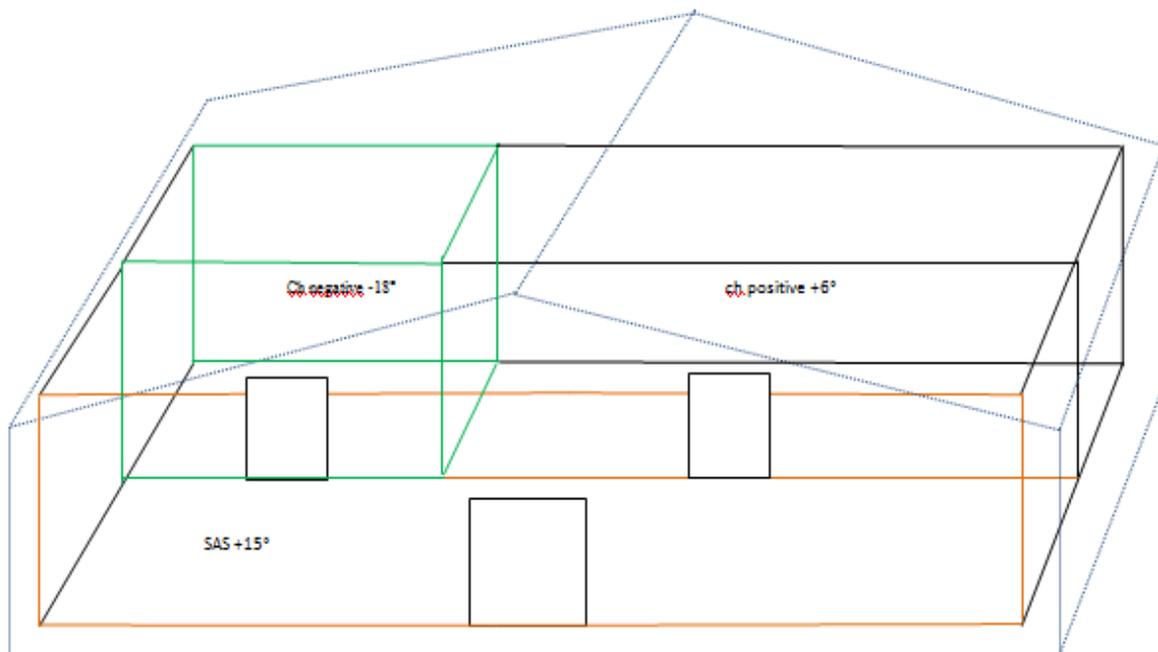
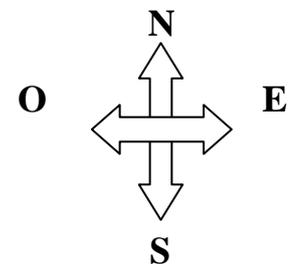


Figure (2.1) : schéma de la chambre froide



### 2.2.4 Description et conception de la chambre froide :

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

Les chambres froides évitent :

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

La fabrication et l'installation des chambres froides répondent à des normes de sécurité et d'hygiène. Les normes en vigueur sont NF E 35-400 pour l'installation frigorifique et NFC 15-100 pour l'installation électrique.

## II.3 L'isolation de la chambre froide :

### II.3.1 Généralités sur l'isolation

L'isolation permet de diminuer le coût des frigorifiques produites. Les isolants limitent les échanges thermiques entre le milieu extérieur et le milieu intérieur.

Une bonne isolation s'impose donc pour le container on doit réduire les apports thermiques.

Un bon isolant doit :

- avoir une faible densité
- avoir une très faible conductivité thermique
- avoir une bonne résistance à la diffusion de la vapeur
- être non hygroscopique
- être imputrescible
- être résistant, et stable entre certaines limites de température
- être ininflammable
- être sans action sur le fer ou les matériaux en contact
- être d'un prix raisonnable
- conserver constante dans le temps, ses qualités d'isolation

La performance de l'isolation augmente si l'isolant contient une certaine quantité

D'air car l'air est le meilleur isolant s'il est sec et au repos  $\lambda = 0,020 \text{ w/mk}$

La grandeur qui permet de mesurer la qualité d'un isolant est la conductivité thermique ( $\lambda$ ) en (W/m K) ou en W/mC

### II.3.2 Les types d'isolants :

Les matériaux les plus utilisés comme isolant sont :

#### Le liège

- Prix élevé
- Bonne résistance mécanique et stable dans le temps
- Masse volumique : 110 à 130  $\text{Kg/m}^3$
- Conductivité thermique : 0.044 W/m.k

### **La fibre de verre**

- Bonne résistance à l'effritement
- Masses volumiques les plus utilisées en isolation frigorifique :

22 kg/m<sup>3</sup> (Panneaux semi rigide PI 156), et 29 kg/m<sup>3</sup> (panneaux rigides PSF).

- Conductivité thermique: 0.035 w/m .k

### **Le polystyrène expansé**

- Prix moyen
- Résistance mécanique moyenne
- Stable dans le temps
- Isolation et pare-vapeur très bon mais inflammable et léger
- Masse volumique : 20 à 30 kg/m<sup>3</sup>
- Conductivité thermique : 0.029 W/m .k

### **Les mousses de polyuréthane**

- Masse volumique: 30 à 40 kg/m<sup>3</sup>
- Conductivité thermique : 0.027
- Prix moyen
- Léger
- Résistance mécanique moyenne
- Stable dans le temps

### **Les caoutchoucs mousses**

- Isolation des circuits frigorifiques et gaine d'air
- Masse volumique: 90 kg/m<sup>3</sup> (tube) et 113 kg/m<sup>3</sup> (plaque)
- Conductivité thermique : 0.03 W/m k

### **La Laine de verre**

- Très bon isolant thermique et acoustique
- Un des matériaux d'isolation les moins chers du marché
- Incombustible et résistante au feu
- Durée de vie élevée
- Non utilisée pour le sol
- Conductivité thermique: 0.035 W/m k

### **La Laine de roche**

- Très bon isolant
- Cout acceptable
- Masse volumique : 21 à 250 kg/m<sup>3</sup>
- Conductivité thermique: 0.093 W/m k

### **II.3.3 Les normes d'isolation :**

L'isolation d'une chambre froide a une importance capitale sur le fonctionnement général de l'installation. Trop faible, elle facilite l'entrée de chaleur par conduction à travers les parois et l'augmentation du temps démarrage du compresseur.

L'isolation doit limiter le coefficient global de transmission thermique à 0.36 W/m c à travers toutes les parois du container.

### **II.3.4 Le choix de l'isolant pour la chambre froide :**

#### **1) Les murs**

A cause de ses qualités intéressantes et son cout abordable on prend comme isolant la mousse de polyuréthane dont les caractéristiques sont :

- Conductivité thermique : 0.027 W /m. c
- épaisseur à mettre : compatible avec les normes d'isolation
- mode de construction : panneaux en sandwich à âme isolante en mousse de polyuréthane

#### **2) La porte :**

Conçu cette porte spécialement pour des installations industrielles où on a besoin d'une porte coulissante légère pour son déplacement. C'est de facile installation et les matériaux sont de hautes qualités.

#### **a) Encadrement:**

Construits en aluminium extrudé et ultérieurement laqué en couleur blanc avec double rupture de pont thermique. Cet encadrement a la possibilité de s'équiper avec résistance pour éviter la Congélation du bourrelet aux chambres de baisse températures. Cet encadrement est adaptable pour n'importe quel panneau et pour travaux civils.

**b) Isolant :** Isolé avec polyuréthane de haut densité (50 kg/m<sup>3</sup>) et tôle avec finitions en laqué blanc, plastifié (PVC) ou acier inoxydable 304 ou 316. En plus, le périmètre est renforcé et il est construit avec des arêtes d'un profil d'aluminium extrudé. Les finitions de l'aluminium sont inoxydables.

**c) Épaisseurs de battant :** 60, 80, 100mm d'après températures de travail.

**d) Fermeture:** Guide coulissant fabriqué avec profil d'aluminium extrudé et anodisé. Ensemble de roulements simples avec un system basculant pour s'adapter á la chute du rail. Vis de fixation d'acier inoxydable

## II.4 Les produits à conserver dans les chambres :

### II.4.1. La pomme



Figure (2.2) : chambre froide - pomme -

Le terme « pomme » est apparu dans la langue française en 1080 ; il vient du latin populaire « Poma », mot qui signifie « fruit ».

**a) Nutriments les plus importants :** la pomme contient une grande variété de vitamines et minéraux, mais aucun n'est présent en quantité qui correspond à ce que l'on appelle une « bonne » ou « excellente » source. .

**b) Conservation :** Toujours garder les pommes au frais, jamais à la température de la pièce, car elles continuent de murir et finissent par perdre une partie de leur saveur. La pomme se conserve à une température de 0 à 6°C avec une humidité relative de 80 % à 85 %.

**c) Les maladies de conservation :** Les pommes conservées sont parfois victimes des maladies de conservation, on peut citer en particulier :

- a) **la tavelure :** n'évolue pas au cours de la conservation, mais les fruits tavelés sont à l'origine de pourriture secondaire causée par les champignons
- b) **la fusariose :** c'est une pourriture brune qui pénètre profondément à la surface du fruit, on observe un mycélium cotonneux blanc grisâtre.
- c) **l'échaudure (brunissure ou scalde) :** provoque un brunissement local généralisé en surface, elle serait due à des conditions météorologiques favorables, temps chaud et sec avant la récolte, à un excès d'éthylène durant la conservation.

#### II.4.2. La viande



Figure (2.3) : Chambre froide - viande -

Les micro-organismes (bactéries, moisissures, levures) sont très dommageables à la conservation des viandes. Ils sont dangereux à la santé, et donnent une mauvaise odeur; accélèrent l'oxydation et apportent des changements déplaisants dans la saveur. Les enzymes

naturelles ont une action bénéfique sur les viandes. Ce sont les procédés chimiques qui permettent le vieillissement et l'attendrissement de la viande.

Au moment de l'abattage, les carcasses sont souillées de différentes façons. Dans les entrepôts une contamination peut provenir des toiles enveloppant les quartiers des viandes congelées.

En conservation une contamination peut se produire dans les salles surtout du point de vue moisissures. En ce qui concerne l'entreposage, on choisira une température aussi basse que possible, une limite inférieure est posée par le fait que la congélation de la viande commence aux environs de  $-1^{\circ}\text{C}$

La température de conservation de la viande varie de  $0^{\circ}\text{C}$  à  $4^{\circ}\text{C}$  avec une hygrométrie comprise entre 75 et 85 %, une viande trop humide sera poisseuse tandis qu'une viande trop sèche perdra de son poids.

Elle se conserve de plusieurs jours à quatre semaines au-delà il faudra congeler la viande, cette congélation doit être la plus rapide possible.

## **II.5 Lieu de l'installation de la chambre froide :**

### **II.5.1 Conditions de base de la région**

D'après le service météorologique de la wilaya de Bouira :

On a donné les informations suivantes:

#### **Données géographiques :**

- Latitude :  $36,5^{\circ}\text{C}$
- Longitude : 3,67
- Altitude : 525 m

#### **Données climatiques :**

- température maximale absolue ( $T_{MAXab}$ ):  $45^{\circ}\text{C}$
- température moyenne minimale du mois le plus chaud ( $T_{m\ min}$ ) :  $26^{\circ}\text{C}$
- température moyenne maximale du mois le plus chaud ( $T_{m\ max}$ ) :  $45^{\circ}\text{C}$
- Humidité relative moyenne minimale (en mode estival) : 45%

## Chapitre III

### Calcul des charges thermiques de la chambre froide

#### III.1. Calcul des charges thermiques des chambres froides

##### III.1.1 Généralités :

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

- de connaître la température souhaitée par le client dans la ou les différentes chambres froides desservies par l'installation frigorifique
- de convenir avec ce client, les modalités et contraintes de réalisation de l'installation puis de définir un concept d'installation.

Et par suite procéder à la détermination des charges thermiques de la ou des différentes chambres froides, Ces charges thermiques correspondent à la puissance frigorifique à installer pour en assurer la compensation.

Les charges thermiques se répartissent en 2 grandes catégories:

- Les charges externes
- Les charges internes

##### 1) La catégorie des charges externes comprend:

- Les charges dues aux apports de chaleur par transmission travers l'enveloppe de la chambre froide: parois verticales, planchers bas, planchers hauts
- Les charges dues au renouvellement de l'air
- Les charges dues à l'ouverture des portes

##### 2) La catégorie des charges internes comprend:

##### a) La sous-catégorie des charges dépendantes des produits entreposés et / ou des évaporateurs comprend:

- les charges dues aux produits entrants
- les charges dues à la respiration des produits entreposés (fruits légumes)
- 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.

**b)** La sous-catégorie des charges interdépendantes des produits entreposés :

- les charges dues à l'éclairage
- les charges dues au personnel
- les charges dues aux chariots élévateurs
- les charges dues à la présence d'éventuelles autres machines

### III.1.2 Calcul des charges thermiques externes:

#### III.1.2.1 Charges thermiques par transmission:

On procède à ces calculs paroi par paroi c'est à dire d'abord les 4 parois verticales ensuite le plancher haut (plafond, toiture) et enfin le plancher bas (sous-sol). Pour chacune des parois constitutives de la chambre froide, la quantité de chaleur pénétrante est donnée par:

$$Q_{tr} = K * S * \Delta T \quad (3.1)$$

K: Coefficient de transmission thermique de paroi [ $W/m^2K$ ]

S : Surface des parois ( $m^2$ )

$\Delta T$ : Différence de température des 2 côtés de la paroi

**Le coefficient K est donné par la relation suivante :**

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + e_{iso}/\lambda_{iso}\right) + 1/h_e} \quad \text{en } (w/m^2) \quad (3.2)$$

$1/h_i$  : Résistance thermique superficielle interne ( $m^2.k/w$ )

$e_{iso}/\lambda_{iso}$  : Résistance thermique des couches des matériaux constituant les parois ( $m^2.k/w$ )

$1/h_e$  : Résistance thermique superficielle externe ( $m^2.k/w$ )

#### 1.2.2 Charges thermiques par renouvellement d'air $Q_{ren}$ :

Il est indispensable de renouveler l'air des chambres froides et de le remplacer par de l'air frais. L'air vicié est évacué généralement par un ventilateur spécial.

Dans les chambres froides une part importante du renouvellement d'air provient du mouvement des portes d'accès. Les renouvellements périodiques sont donc à réduire au minimum compatible avec une bonne conservation des produits. La quantité de chaleur nécessaire par ce renouvellement dépend des

conditions ambiantes extérieures et de la température de la chambre froide ainsi que son humidité relative.

Si l'air extérieur a une température  $T_a$  et une humidité relative, le diagramme psychométrique de l'air permet de déterminer son enthalpie  $h_a$  ainsi que son volume massique  $v$ . La température intérieure étant  $T_f$ , le degré hygrométrique  $e_r$  nous aurons par conséquent une Enthalpie  $h_f$ .

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

$$Q_{ren} = m_a \times \Delta H = (h_a - h_f) \times m_a \quad [\text{W}] \quad (3.3)$$

En fonction du nombre de renouvellement d'air

$$Q_{ren} = N \times \left(\frac{V}{v}\right) \times (h_a - h_f) \quad [\text{W}] \quad (3.4)$$

$N$  : nombre de renouvellement d'air :

$V$  : volume de la chambre froide ( $\text{m}^3$ ).

### 1.2.3 Charge thermique par ouverture des portes ( $Q_{op}$ )

La charge par ouverture des portes est donnée par :

$$Q_{OP} = [8 + (0,067 * \Delta T) * t * p_{aa} * l * h * \sqrt{h * \left(1 - \frac{p_{ae}}{p_{aa}}\right)} * (h_{ae} - h_{aa}) * c_{ra}] \quad (3.6)$$

$$\rho_a = 1.293 / (1 + t_a / 273,15) \quad (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (3.7)$$

Avec :

$t_a$  : Température de la chambre froide.

$\rho_a$  : Masse volumique de l'air du côté de la porte autre que la chambre froide ( $\text{kg} / \text{m}^3$ ).

$\rho_f$  : Masse volumique de l'air dans la chambre froide ( $\text{kg} / \text{m}^3$ )

$$\Delta T_p = T_f - T_a$$

$S_p$  : surface des portes ( $\text{m}^2$ )

$\tau_p$  : Temps moyen pendant lequel les portes restent ouvertes (min/h)

$C_{ra}$  : Coefficient de minoration rideaux d'air.  $C_{ra} = 0.25$

Sans rideaux d'air  $C_{ra} = 1$

$$\tau_p = d_t * f_i / 24 \quad (\text{min/h}) \quad (3.8)$$

$d_t$  : Durée moyenne ouverture des portes (min/h)

$f_i$  : Flux journalier des marchandises en (tonne/ jour.)

### III.1.3 Charges thermiques internes:

Charges thermiques internes indépendantes des denrées entreposées :

#### 1.3.1 L'éclairage :

$$Q_{ec} = n * p * t / 24 \quad [\text{W}] \quad (3.9)$$

N : nombre de luminaires

P : puissance de chaque luminaire en [W]

t : durée de fonctionnement des luminaires en [h/j]

Il faut noter que la puissance lumineuse installée est généralement de (6w/m)

#### 1.3.2 Charges thermiques dues aux personnes (aux occupants) $Q_{per}$ :

$$Q_{per} = n * q_{per} * \tau / 24 \quad (3.10)$$

N : nombre de personnes opérant dans la chambre

$\tau$  : Durée de présence de chaque personne en activité moyenne dans la chambre (h/j)

#### 1.3.3. Charges thermiques dues aux matériels roulants et machines diverses :

$$Q_{md} = I * P * \tau / 24 \quad (\text{W}) \quad (3.11)$$

I: nombre de machine

P : puissance de chaque machines en (W)

$\tau$ : Durée de fonctionnement en (h/j)

Si la surface est faible, il ne doit pas être prévu des chariots Roulans  $Q_{md} = 0$

### 1.3.4. Charges thermiques dépendantes de produits entreposés

#### a) Charges thermiques dues aux denrées entrantes $Q_{de}$

La charge due aux produits entrants pour abaisser les températures jusqu'à celle d'entreposage est donnée par cette relation :

$$Q_{de} = mc_1(t_1 - t_2) + ml + mc_2(t_3 - t_4)/86400 \quad (3.12)$$

M : masse de denrées introduites chaque jours en (kg / j)

thermique résultant du dégivrage à prévoir. Cette

Détermination fera j'objet d'une vérification ultérieure, une fois la charge thermique totale effective connue.  $C_1$  : capacité thermique massique de  $t_1$  et  $t_2$  en (kJ/kg k)

$T_1$  : température initiale en ( $^{\circ}$ C)

$T_2$  : chaleur latente massique de congélation (kJ/ kg .k)

$C_2$  : capacité thermique massique en (kJ /kg .k) de  $t_2$  et  $t_3$

$T_3$  : température d'entreposage en ( $^{\circ}$ C)

#### b) Calcul de la capacité moyenne

Au cas où nous avons plusieurs types de denrées a introduises dans la chambre au lieu d'effectuer de calcul de type. De denrées par type Nous pouvons calculer tant pour les denrées avant congélation que pour les denrées en-dessus du point de congélation. Une capacité thermique moyenne

$$C_m = m_1C_1 + m_2C_2 \dots m_nC_n / m_1 + m_2 \dots m_n$$

Si les produits sont seulement refroidis :

$$Q_{de} = m * C_p * \Delta T/86400 \text{ En (k w)} \quad (3.13)$$

#### c) Charges thermiques dues à la respiration des denrées $Q_{RESP}$

Les produits végétaux entreposés dégagent de la chaleur du fait de leur respiration, de même que les produits laitiers frais du fait de leur fermentation. En présence de tels produits, il faut donc tenir compte également de la charge correspondante donnée par :

$$Q_{\text{resp}} = m \times q_{\text{resp}} / 86400 \quad (3.14)$$

M : masse de marchandise considérée en (kg)

$Q_{\text{RESP}}$  : chaleur de respiration considérée en (kJ/kg C°)

### 1.3.5. Puissance frigorifique intermédiaire de l'évaporateur $Q_{\text{INT}}$

La charge thermique intermédiaire est:

$$Q_{\text{intermédiaire}} = Q_{\text{transmission}} + Q_{\text{Rnovationnement d'air}} + Q_{\text{ouverture des portes}} + Q_{\text{éclairage}} + Q_{\text{ventilation}} + Q_{\text{dégivrage}} + Q_{\text{denrées entrantes}} + Q_{\text{respiration des denrées}} \quad (3.15)$$

Si l'on désigne par T, la durée de fonctionnement l'installation frigorifique en (h/j) la puissance frigorifique intermédiaire de l'évaporateur est alors :

$$Q_{\text{ev}} = Q_{\text{int}} \times 24 / \tau_{\text{inst}} \quad (\text{w}) \quad (3.16)$$

$Q_{\text{INT}}$ : Charge thermique intermédiaire

$\tau_{\text{inst}}$  : Durée de marche de l'installation frigorifique en (h / J)

### 1.3.6. Charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs :

Dans les chambres froides modernes, on utilise toujours des évaporateurs équipés d'un ou plusieurs ventilateurs ce qui permet d'assurer un brassage et une circulation efficace de l'air. Chaque ventilateur est entraîné par un moteur électrique qui dégage de la chaleur qui s'ajoute à la chaleur dégagée par les différentes autres sources. La charge due aux moteurs des ventilateurs est alors donnée par la formule :

$$Q_{\text{vent}} = n \times p \times \tau_{\text{evap}} / \tau_{\text{inst}} \quad (\text{w}) \quad (3.17)$$

Avec :

N : nombre de moteurs de ventilateurs

P : puissance du ventilateur considérée en (W)

$\tau_{\text{evap}}$  : Durée de fonctionnement des ventilateurs en (h / J)

$\tau_{inst}$  : Durée de marche de l'installation frigorifique en (h / J) En général :

18h /j dans les chambres froides de produits congelés et 16h/J dans les autres.

Ce calcul nécessite donc de connaître le nombre et le type d'évaporateurs prévus (nombre de ventilateurs, donc de moteurs d'une certaine puissance par évaporateur), Or ces indications ne

Seront normalement connues qu'une fois le bilan frigorifique établi c'est pourquoi l'on procède dans un premier temps à la détermination provisoire du nombre et type d'évaporateurs, ainsi que de la charge

La détermination provisoire du nombre et du type d'évaporateurs à installer se fait à partir du calcul de la puissance frigorifique prévisionnelle  $Q_{PREV}$  laquelle s'obtient en ajoutant 20 % à la puissance frigorifique intermédiaire  $Q_{INT}$

$$Q_{OPREV} = 1,2 * Q_{OINT} \text{ (W)} \quad (3.18)$$

#### **b) Charge thermique due aux résistances de dégivrage ( $Q_{DEG}$ ) :**

Il existe différents systèmes de dégivrage d'un évaporateur mais il s'agit souvent de résistances électriques. La charge due aux résistances électriques est alors :

$$Q_{deg} = n \times p \times \tau_{deg} / \tau_{inst} \text{ (w)} \quad (3.19)$$

## **III.2 Calcul chambre froide positive**

### **III.2.1. Rôle de la chambre froide :**

C'est une chambre destinée à conserver les fruits et légumes une température au voisinage de +6 C°

#### **Données de calculs**

##### **Dimension :**

Langueur : 12 m

Largeur : 10 m

Hauteur : 4 m

Surface : 120 m<sup>2</sup>

Volume : 480 m<sup>3</sup>

**Conditions thermiques :**

Température de sol  $T_{sol} = +15\text{ C}^\circ$

Température interne de la chambre positive  $T_{cp} = +6\text{ C}^\circ$

Température de la chambre négative  $T_{cn} = -18\text{ C}^\circ$

Température interne du S.A.S  $T_{ss} = 15\text{ C}^\circ$

Humidité relative  $\varphi = 45\%$

Température maximale du mois le plus chaud =  $+45\text{ C}^\circ$

**III.2.2 Calcul des charges thermiques :**

La charge frigorifique intermédiaire  $Q_{INT}$  (en W) est la somme des charges thermiques calculées précédemment :

$$Q_{int} = Q_{tp} + Q_{op} + Q_{pe} + Q_{de} + Q_{ec} + Q_{vent} + Q_{resp} + Q_{dég}$$

**III.2.3. Charge thermique interne :****2.3.1 Les apports thermique a travers les parois sont donnée par la formule suivante :**

$$Q_{tp} = Q_{nord} + Q_{sud} + Q_{est} + Q_{ouest} + Q_{Plafond} + Q_{sol} \text{ en (w)}$$

**Le Coefficient de transmission thermique et calculé en utilisant l'expression suivant :**

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + e_{iso}/\lambda_{iso}\right) + 1/h_e} \text{ en (w/m}^2\text{)}$$

$1/h_i$  : Résistance thermique superficielle interne ( $\text{m}^2 \cdot \text{k/w}$ )

$e_{iso}/\lambda_{iso}$  : Résistance thermique des couches des matériaux constituant les parois ( $\text{m}^2 \cdot \text{k/w}$ )

$1/h_e$  : Résistance thermique superficielle externe ( $\text{m}^2 \cdot \text{k/w}$ )

Coté externe de la paroi	$1/h_e$ (m <sup>2</sup> .k/w)	Coté interne de la paroi	$1/h_i$ (m <sup>2</sup> .k/w)
Cas ou il est en contact avec l'air extérieur	0,03	Cas d'une chambre froide en ventilation mécanique	0,06
Cas ou il est en contact avec un autre local	0,12	Cas d'une chambre froide en ventilation naturelle	0,12

Tableaux (3.1) : résistance thermique superficiel des parois d'une chambre froide

Epaisseur d'isolant (mm)	Coefficient de transmission thermique de la paroi K [w/m <sup>2</sup> ]	Ecart de température conseillé (C°)	Utilisation jusqu'à environ c°
50	0,39	20	-4 C°
75	0,26	34	-10 C°
100	0,19	45	-20 C°
125	0,15	56	-30 C°
150	0,13	70	-40 C°

Tableau (3.2) : valeurs des coefficients de transmission thermique k (w/m<sup>2</sup>)

$1/h_i$  : 0,06

$1/h_e$  : 0,12

$e_{iso}$  : 100mm

Donc :  $k = \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{h_i} + e_{\frac{iso}{\lambda_{iso}}}\right) + \frac{1}{h_e}\right)}$  en  $\left(\frac{w}{m^2}\right)$

$K = 0,19 \text{ w/m}^2$

### 2.3.2 Surface intérieur de la chambre :

Pour la paroi nord :  $(12 \times 4) = 48 \text{ m}^2$

Pour la paroi sud :  $(12 \times 4) = 48 \text{ m}^2$

Pour la paroi est :  $(10 \times 4) = 40 \text{ m}^2$

Pour la paroi ouest :  $(10 \times 4) = 40 \text{ m}^2$

Plancher :  $(12 \times 10) = 120 \text{ m}^2$

Plafond :  $(12 \times 10) = 120 \text{ m}^2$

	S (m <sup>2</sup> )	K (w/m <sup>2</sup> ) k	$\Delta T$	$Q_N = ks\Delta T(w)$
Paroi nord	48	0,19	+39	355,68
Paroi sud	48	0,19	30	273,6
Paroi est	40	0,19	+39	296,4
Ouest	40	0.19	63	478,8
Plancher	120	0,19	+39	889,2
Plafond	120	0,268	+9	289,44
$Q_{tp}$				2583,12

Tableaux (3.3) : calcule la quantité de chaleur échangée a travers les parois( $Q_{tp}$ )

### 2.3.3. Charge thermique par ouverture des portes $Q_{OP}$ :

$$Q_{OP} = [8 + (0,067 * \Delta T) * t * p_{aa} * l * h * \sqrt{h * (1 - \frac{p_{ae}}{p_{aa}})} * (h_{ae} - h_{aa}) * c_{ra}]$$

Avec :

$\Delta T$  : Écart type de l'air entre les deux cotes de la porte en (C°)

t : temps d'ouverture de la porte en (min/h) = 0,33 (min/h)

$p_{aa}$  : Masse volumique de l'air dans la chambre en (kg/m<sup>3</sup>) = 1,265 kg/m<sup>3</sup>

$P_{ae}$  : Masse volumique de l'air de cote de la porte en (kg/m<sup>3</sup>)

L : longueur de la porte (m) = 1,5

h: hauteur de la porte (m)= 2 m

$h_{ae}$  : Enthalpie de l'air ambiant en (KJ/kg)=116 KJ/Kg

$h_{aa}$  : Enthalpie de l'air extérieur en KJ/Kg = 6,27 KJ/Kg

$C_{ra}$  : Coefficient de minoration de la porte en présence éventuelle d'un rideau d'air

$$C_{ra} = 0,25$$

Donc :

$$\rho_{ae} = \frac{\rho_0}{1 + \frac{T}{273,15}} \quad \text{en (kg/m}^3\text{)}$$

Avec :  $\rho_0 = 1,293$

$$T = 45 \text{ C}^\circ$$

D'après les calculs :

$$\rho_{ae} = 1,11 \text{ kg /m}^3$$

Donc la charge thermique par ouverture des portes  $Q_{op}$  :

$$Q_{op} = [8 + (0,067 * 39) * 0,33 * 1,265 * 1,5 * 2 * \sqrt{2 * \left(1 - \frac{1,11}{1,265}\right) * (116 - 6,25) * 0,25}]$$

$$Q_{op} = 52,30 \text{ w}$$

### 2.3.4. Calcul des charges thermique internes

⇒ L'Eclairage  $Q_{ec}$

$$Q_{ec} = n * p * t / 24 \quad (\text{w}) \quad \text{Avec:}$$

N : nombre de luminaire dans notre cas : 6 lampes

P : puissance de chaque luminaire

$\tau$  : Durée de fonctionnement de luminaire

Donc :

$$Q_{ec} = 6 * 75 * 8/24$$

$$Q_{ec} = 150 \text{ w}$$

⇒ **Personel  $Q_{pe}$  :**

$$Q_{pe} = n * q_p * t/24$$

N : nombre de personnes opérant dans la chambre

$q_p$  : Quantité de chaleur dégagée par unité de temps pour une personne en activité dans la chambre

t : durée de présence de chaque personne dans la chambre froide en (h/j)

température de la chambre froide (c°)	Quantité de chaleur dégagée par de temps $q_p$ (w)
15	200
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390

Tableau (3.4) : quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne activité moyenne donne une chambre froide

Donc :  $Q_{pe} = 4 * 240 * 3/24$

$$Q_{pe} = 120 \text{ w}$$

⇒ **Charge thermique des denrées entrantes  $Q_{de}$  :**

$$Q_{de} = m * C_p * \Delta T / 86400 \text{ En (k w)}$$

Avec :

M : la masse des denrées introduites chaque jour=400 kg/jour

$C_p$  : Chaleur massique spécifique = 3,77 KJ/Kg

$\Delta T$  : Ecart température entre les denrées entrantes et celle de la chambre froide = 9 c°

Donc :

$$Q_{de} = 400 * 3,77 * 9 / 86400$$

$$Q_{de} = 0,157 \text{ k w}$$

$$Q_{de} = 157 \text{ w}$$

⇒ **Charge thermique due à la respiration de la denrée  $Q_{resp}$  :**

$$Q_{resp} = m * \frac{q_{resp}}{86400}$$

$$Q_{resp} = 400 * 175 / 86400$$

$$Q_{resp} = 0,810 \text{ kw} \quad \text{Donc} \quad Q_{resp} = 810 \text{ W}$$

⇒ **Charge thermique de ventilation  $Q_v$  :**

$$Q_v = n * p * \tau_{evap} / \tau_{inst} \quad \text{En (w)}$$

N : nombre de moteur de ventilateur

P : puissance de ventilateur considère en (w)

$\tau_{evap}$  : Durées de fonctionnement de ventilateur en (h/d)

$\tau_{inst}$  : Durées de marche de l'installation frigorifique en h/d (en générale 18h/d pour les chambres négatives et 16h/d pour les chambres positives)

Donc :

$$Q_v = 2 * 1500 * 16/16$$

$$Q_v = 3000 \text{ w}$$

⇒ **Charge thermique due aux résistances de dégivrage  $Q_{dég}$  :**

$$Q_{dég} = n * p * T_{dég} / \tau_{ist} \quad \text{En (w)}$$

$$Q_{dég} = 1 * 1500 * 1,33/16$$

$$Q_{dég} = 292 \text{ w}$$

⇒ **Puissance frigorifique intermédiaire :**

<b>1</b>	Les apporte thermique a travers les parois $Q_{tp}$	2583,12
<b>2</b>	Charge thermique par ouverture des portes $Q_{OP}$	52,30
<b>3</b>	Personnel $Q_{pe}$	150
<b>4</b>	Charge thermique des denrées entrantes $Q_{de}$	320
<b>5</b>	L'éclairage $Q_{ec}$	157
<b>6</b>	Charge thermique de la ventilation $Q_v$	810
<b>7</b>	Charge thermique la respiration de la denrée $Q_{resp}$	3000
<b>8</b>	Charge thermique dégivrage $Q_{dég}$	292
<b>9</b>		<b>7369,42 w</b>

Tableau (3.5): Les différentes charges sur la chambre positive

Donnée par l'expression suivante :

$$Q_{int} = Q_{tp} + Q_{op} + Q_{pe} + Q_{de} + Q_{ec} + Q_{vent} + Q_{resp} + Q_{dég}$$

$$Q_{int} = 2583,12 + 52,30 + 150 + 320 + 157 + 810 + 3000 + 292$$

$$Q_{int} = 7369,42 \text{ w}$$

⇒ **Puissance frigorifique total :**

$$Q_T = Q_{int} * 24 / \tau_{inst}$$

Donc :

$$Q_T = 11054,13 \text{ w}$$

$$Q_T = 11,054 \text{ kw}$$

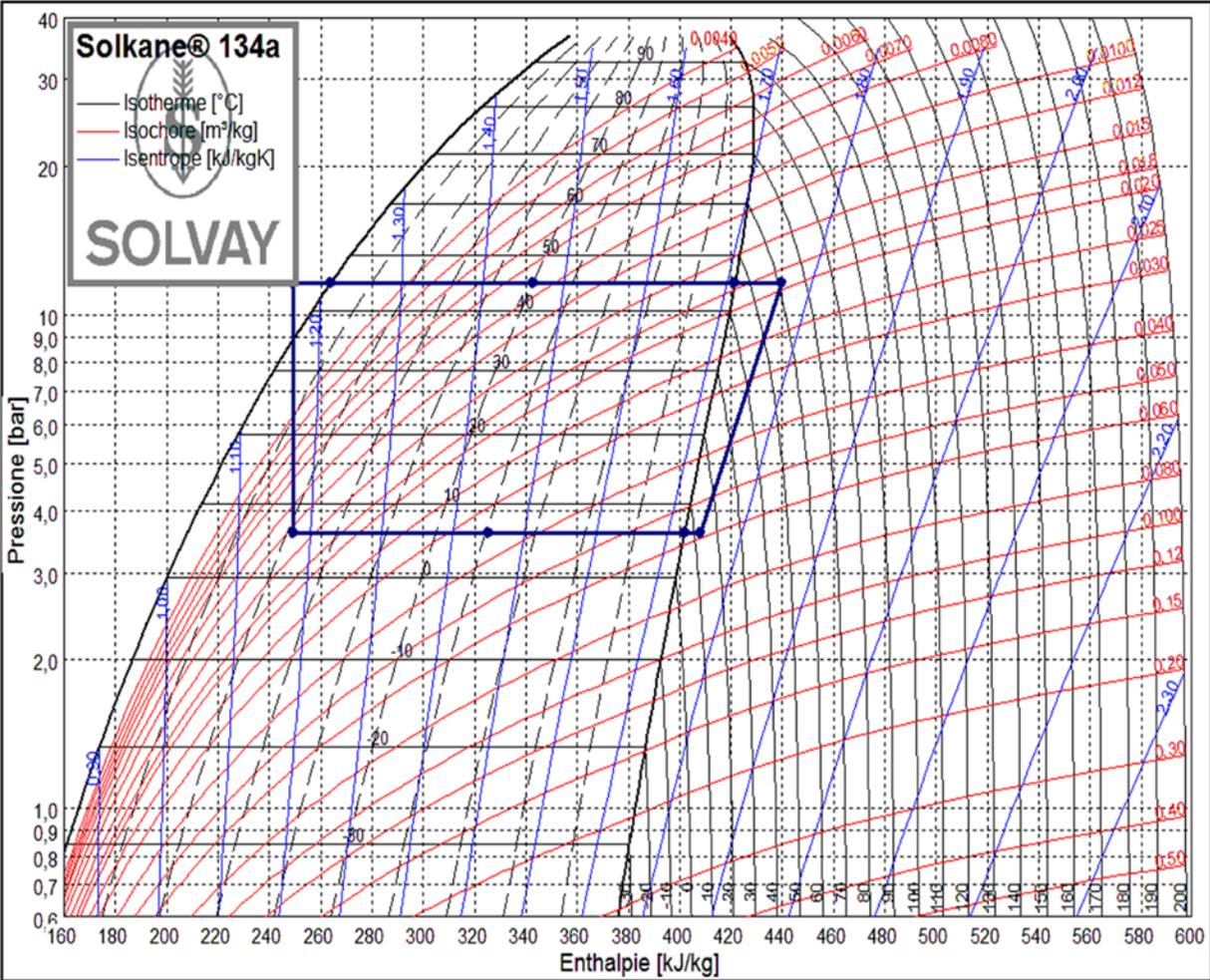


Diagramme (3.1) frigorifique de la chambre froide positive

### III.3 Calcul chambre froide négative

#### III.3.1 Rôle de la chambre froide :

C'est une chambre destinée à conserver les viandes une température au voisinage de  $-18\text{ C}^\circ$

#### Dimensions :

- Longueur : 6 m
- Largeur : 10 m
- Hauteur : 4 m
- Surface :  $60\text{ m}^2$
- Volume :  $240\text{ m}^3$

#### Conditions thermiques

- Température de sol  $T_{\text{sol}}=15\text{ C}^\circ$
- Température interne de la chambre positive  $T_{\text{cp}} = +6\text{ C}^\circ$
- Température de la chambre négative  $T_{\text{cn}} = -18\text{ C}^\circ$
- Température interne du S.A.S  $T_{\text{ss}} = 15\text{ C}^\circ$
- Température extérieure =  $+45\text{ C}^\circ$
- Humidité relative  $\varphi = 45\%$

#### III.3.2 Charge thermiques internes :

Les apports thermique a travers les parois sont donnée par la formule suivante :

$$Q_{tp}=Q_{\text{nord}} + Q_{\text{Sud}} + Q_{\text{est}} + Q_{\text{ouest}} + Q_{\text{plafond}} + Q_{\text{sol}} \text{ en (w)}$$

Le Coefficient de transmission thermique et calculé en utilisant l'expression suivant :

$$k = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{e_{\text{iso}}}{\lambda_{\text{iso}}}\right) + 1/h_e} \text{ en (w/m}^2\text{)}$$

$1/h_i$  : Résistance thermique superficiel interne ( $\text{m}^2 \cdot \text{k/w}$ )

$e_{\text{iso}}/\lambda_{\text{iso}}$  : Résistance thermique des couches des matériaux constituant les parois ( $\text{m}^2 \cdot \text{k/w}$ )

$1/h_e$  : Résistance thermique superficiel externe ( $\text{m}^2 \cdot \text{k/w}$ )

### Chapitre III : Calcul et dimensionnement

Coté externe de la paroi	$1/h_e$	Coté interne de la paroi	$1/h_i$
Cas ou il est en contact avec l'air extérieur	0,03	Cas d'une chambre froide en ventilation mécanique	0,06
Cas ou il est en contact avec un autre local	0,12	Cas d'une chambre froide en ventilation naturelle	0,12

Tableaux (3.7) : résistance thermique superficielle des parois d'une chambre froide

	Fibre de verre	Polystyrène	Polyuréthane
Coefficient de conductivité thermique $\lambda$ (W/m C°)	0,03	0,03	0,024

Tableau (3.8) : Coefficients de conductivité thermique des isolants utilisés pour les Murs des chambres froides traditionnelles

Epaisseur d'isolant (mm)	Coefficient de transmission thermique de la paroi K [w/m²]	Ecart de température conseillé	Utilisation jusqu'à environ C°
50	0,39	20	-4 C°
75	0,26	34	-10 C°
100	0,19	45	-20 C°
125	0,15	56	-30 C°
150	0,13	70	-40 C°

Tableau (3.9) : valeurs des coefficients de transmission thermique k (w/m²)

$1/h_i$  : 0,06

$1/h_e$  : 0,12

Epaisseur : 150 mm

$$\text{Donc : } k = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + e_{\text{iso}} / \lambda_{\text{iso}}\right) + 1/h_e} \quad \text{en (w/m}^2\text{)}$$

$K = 0.13 \text{ w/m}^2 \text{ k}$

**3.2.3 Surface intérieur de la chambre :**

Pour la paroi nord :  $(6 \times 4) = 24 \text{ m}^2$

Pour la paroi sud :  $(6 \times 4) = 24 \text{ m}^2$

Pour la paroi est :  $(10 \times 4) = 40 \text{ m}^2$

Pour la paroi ouest :  $(10 \times 4) = 40 \text{ m}^2$

Plancher :  $(6 \times 10) = 60 \text{ m}^2$

Plafond :  $(6 \times 10) = 60 \text{ m}^2$

	S (m <sup>2</sup> )	K (w/m <sup>2</sup> )	$\Delta T$	$Q_N = ks\Delta T$ En (w)
Paroi nord	24	0,13	+63	196,56
Paroi sud	24	0,13	+30	93,6
Paroi est	40	0,13	+39	202,8
Paroi ouest	40	0,13	+63	327,6
Plancher	60	0,13	+63	491,4
Plafond	60	0,268	+33	530,64
$Q_{tp}$				1842,6 W

Tableaux (3.10) : calcule la quantité de chaleur échangée a travers les parois( $Q_{tp}$ )

**III.3.3 Charge thermique par ouverture des portes  $Q_{OP}$  :**

$$Q_{OP} = [8 + (0,067 * \Delta T) * t * p_{aa} * l * h * \sqrt{h * (1 - \frac{p_{ae}}{p_{aa}}) * (h_{ae} - h_{aa}) * c_{ra}}]$$

Avec :

$\Delta T$  : Écart type de l'air entre les deux cotes de la porte en (C°)

t : temps d'ouverture de la porte en (min/h) = 0,33 (min/h)

$p_{aa}$  : Masse volumique de l'air dans la chambre en (kg/m<sup>3</sup>) = 1,265 kg/m<sup>3</sup>

## Chapitre III : Calcul et dimensionnement

$\rho_{ae}$  : Masse volumique de l'air de cote de la porte en ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

L : longueur de la porte (m) = 1,5

H : hauteur de la porte (m) = 2 m

$h_{ae}$  : Enthalpie de l'air ambiant en ( $\text{KJ}/\text{kg}$ ) = 116  $\text{KJ}/\text{Kg}$

$h_{aa}$  : Enthalpie de l'air extérieur en ( $\text{KJ}/\text{Kg}$ ) = -18,81  $\text{KJ}/\text{Kg}$

$C_{ra}$  : Coefficient de minoration de la porte en présence éventuelle d'un rideau d'air

$C_{ra} = 0,25$

Donc :

$$\rho_{ae} = \frac{\rho_0}{1 + \frac{T}{273,15}} \quad \text{en } (\text{kg}/\text{m}^3)$$

Avec :  $\rho_0 = 1,293$

$T = 45 \text{ C}^\circ$

D'après les calculs :

$$\rho_{ae} = 1,11 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Donc la charge thermique par ouverture des portes  $Q_{op}$  :

$$Q_{op} = [8 + (0,067 \times 63) \times 0,33 \times 1,265 \times 1,5 \times 2 \sqrt{2 \times \left(1 - \frac{1,11}{1,265}\right)} \times (116 - (-18,81)) \times 0,25]$$

$$Q_{op} = 95,80 \text{ w}$$

### III.3.3 Calcul des charges thermique internes

⇒ L'Eclairage  $Q_{ec}$  :

$$Q_{ec} = n \times p \times t/24 \quad \text{Avec :}$$

N : nombre de luminaire dans notre cas : 4 lampes

P : puissance de chaque luminaire

$\tau$  : Durée de fonctionnement de luminaire

$$\text{Donc : } Q_{ec} = 4 \times 75 \times 8/24$$

$$Q_{ec} = 100 \text{ w}$$

## Chapitre III : Calcul et dimensionnement

⇒ **Personale  $Q_{pe}$  :**

$$Q_{pe} = n * q_p * t/24$$

N : nombre de personnes opérant dans la chambre

$q_p$  : Quantité de chaleur dégagée par unité de temps pour une personne en activité dans la chambre

t : durée de présence de chaque personne dans la chambre froide en (h/j)

température de la chambre froide (c°)	Quantité de chaleur dégagée par de temps $q_p$ (w)
15	200
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390

Tableau (3.11) : quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne activité moyenne donne une chambre froide

Donc :  $Q_{pe} = 4 \times 390 \times 8/24$

$$Q_{pe} = 520 \text{ w}$$

⇒ **Charge thermique des denrées entrantes  $Q_{de}$  :**

$$Q_{de} = m * C_p * \Delta T/86400 \quad (\text{k w})$$

Avec :

M : la masse des denrées introduites chaque jour=400 kg/jour

$C_p$  : Chaleur massique spécifique = 3,77 KJ/Kg

$\Delta T$  : Ecart température entre les denrées entrantes et celle de la chambre froide = 33c°

### Chapitre III : Calcul et dimensionnement

Donc :

$$Q_{de} = 400 \times 3,77 \times 33/86400$$

$$Q_{de} = 0,575 \text{ kW} \quad Q_{de} = 575 \text{ W}$$

⇒ **Charge thermique due à la respiration de la denrée  $Q_{resp}$  :**

$$Q_{resp} = m * \frac{q_{resp}}{86400}$$

$$Q_{resp} = 400 \times 175/86400$$

$$Q_{resp} = 0,810 \text{ kW} \quad \text{Donc } Q_{resp} = 810 \text{ W}$$

⇒ **Charge thermique de ventilation  $Q_v$  :**

$$Q_v = n * p * \tau_{evap} / \tau_{inst} \quad \text{En (w)}$$

Avec :

N : nombre de moteur de ventilateur

P : puissance de ventilateur considère en (w)

$\tau_{evap}$  : Durées de fonctionnement de ventilateur en (h/d)

$\tau_{inst}$  : Durées de marche de l'installation frigorifique en h/d (en générale 18h/d pour les chambres négatives et 16h/d pour les chambres positives)

Donc :

$$Q_v = 2 * 1500 * 18/18$$

$$Q_v = 3000 \text{ W}$$

⇒ **Charge thermique due aux résistances de dégivrage  $Q_{dég}$  :**

$$Q_{dég} = n * p * T_{dég} / \tau_{ist} \quad (\text{w})$$

$$Q_{dég} = 3 * 1500 * 1,33/18$$

$$Q_{dég} = 332,5 \text{ W}$$

⇒ **Puissance frigorifique intermédiaire :**

<b>1</b>	Les apports thermique a travers les parois $Q_{tp}$	1842,6
<b>2</b>	Charge thermique par ouverture des portes $Q_{OP}$	95,8
<b>3</b>	Personnel $Q_{pe}$	100
<b>4</b>	Charge thermique des denrées entrantes $Q_{de}$	520
<b>5</b>	L'éclairage $Q_{ec}$	575
<b>6</b>	Charge thermique de la ventilation $Q_V$	810
<b>7</b>	Charge thermique la respiration de la denrée $Q_{resp}$	3000
<b>8</b>	Charge thermique dégivrage $Q_{dég}$	325,5
<b>9</b>	<b>Charge intermédiaire</b>	<b>7268,9</b>

Tableau (3.12): Les différentes charges sur la chambre négative

Donnée par l'expression suivante :

$$Q_{int} = Q_{tp} + Q_{op} + Q_{pe} + Q_{de} + Q_{ec} + Q_{vent} + Q_{resp} + Q_{dég}$$

$$Q_{int} = 1842,6 + 95,80 + 100 + 520 + 575 + 810 + 3000 + 325,5$$

$$Q_{int} = 7268,9w$$

⇒ **Puissance frigorifique total :**

$$Q_T = Q_{int} * 24/\tau_{inst}$$

$$Q_T = 7268,9 * 24/18$$

Donc :

$$Q_T = 9691,86 w$$

$$Q_T = 9,69186 kw$$

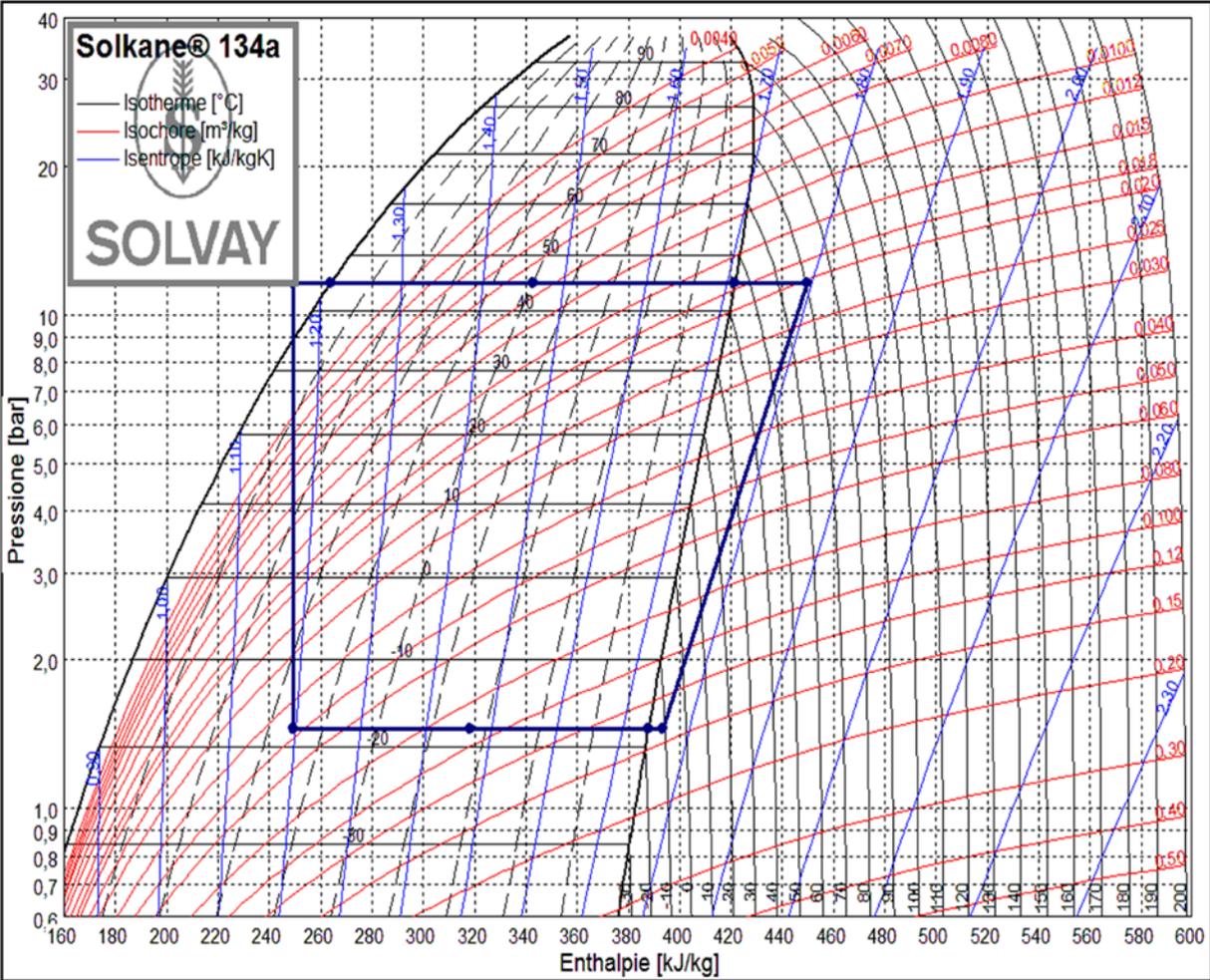


Diagramme (3.2) : frigorifique de la chambre froide négative

### III.4 Calcul SAS

#### III.4.1. Dimensions

- Longueur : 18 m
- Largeur : 6 m
- Hauteur : 4 m
- Surface : 108 m<sup>2</sup>
- Volume : 432 m<sup>3</sup>

#### 4.2. Conditions thermiques

- Température de sol  $T_{sol}=15\text{ C}^\circ$
- Température ambiante  $T_{amb}=15$
- Température interne du S.A.S  $T_{ss} = 15^\circ\text{C}$
- Température maximale du moi plus chaud= 45 C°
- Humidité relative  $\varphi = 45\%$

#### 4.3. Surface intérieur de la chambre :

- Pour la paroi nord :  $(18*4)= 72\text{ m}^2$
- Pour la paroi sud :  $(18*4)= 72\text{ m}^2$
- Pour la paroi est :  $(6*4)= 24\text{ m}^2$
- Pour la paroi ouest :  $(6*4)= 24\text{ m}^2$
- Plancher :  $(18*6)= 108\text{ m}^2$
- Plafond :  $(18*6)= 108\text{ m}^2$

	S (m <sup>2</sup> )	K (w/m <sup>2</sup> ) k	$\Delta T$	$Q_N = ks\Delta T(w)$
Paroi sud	72	0,19	+30	410,4
Paroi nord	72	0,19	+33	451,44
	72	0.19	9	123 ,12
Paroi est	24	0,19	+30	136,6
Ouest	24	0.19	+30	136,6
Plancher	108	0,19	+15	307,8
Plafond	108	0,268	+9	260,496
$Q_{tp}$				1826,456

Tableaux (3.13) : calcule la quantité de chaleur échangée a travers les parois( $Q_{tp}$ )

**4.4. Charge thermique par ouverture des portes  $Q_{OP}$  :**

$$Q_{OP} = [8 + (0,067 * \Delta T) * t * p_{aa} * l * h * \sqrt{h * (1 - \frac{p_{ae}}{p_{aa}})} * (h_{ae} - h_{aa}) * c_{ra}]$$

Avec :

$\Delta T$  : Écart type de l'air entre les deux cotes de la porte en (C°)

T : temps d'ouverture de la porte en (min/h) = 0,33 (min/h)

$p_{aa}$  : Masse volumique de l'air dans la chambre en (kg/m<sup>3</sup>) = 1,265 kg/m<sup>3</sup>

$p_{ae}$  : Masse volumique de l'air de cote de la porte en (kg/m<sup>3</sup>)

L : longueur de la porte (m) = 1,5

H : hauteur de la porte (m) = 2 m

$h_{ae}$  : Enthalpie de l'air ambiant en (KJ/kg) = 116 KJ/Kg

$h_{aa}$  : Enthalpie de l'air extérieur en KJ/Kg = 6,27 KJ/Kg

$C_{ra}$  : Coefficient de minoration de la porte en présence éventuelle d'un rideau d'air

$C_{ra} = 0,25$

Donc :

$$\rho_{ae} = \frac{\rho_0}{1 + \frac{T}{273,15}} \text{ en (kg/m}^3\text{)}$$

Avec :  $\rho_0 = 1,293$

T = 45 C°

D'après les calculs :

$$\rho_{ae} = 1,11 \text{ kg /m}^3$$

Donc la charge thermique par ouverture des portes  $Q_{op}$  :

$$Q_{op} = [8 + (0,067 * 30) * 0,33 * 1,265 * 1,5 * 2 * \sqrt{2 * \left(1 - \frac{1,11}{1,265}\right)} * (116 - 6,25) * 0,25]$$

$$Q_{op} = 45,01 \text{ w}$$

**4.5. Calcul des charges thermique internes**

⇒ **L'Eclairage  $Q_{ec}$**

$$Q_{ec} = n * p * t/24 \quad (w) \quad \text{Avec:}$$

N : nombre de luminaire dans notre cas : 6 lampes

P : puissance de chaque luminaire

$\tau$  : Durée de fonctionnement de luminaire

Donc :

$$Q_{ec} = 6 * 75 * 8/24$$

$$Q_{ec} = 150 w$$

⇒ **Personel  $Q_{pe}$  :**

$$Q_{pe} = n * q_p * t/24$$

N : nombre de personnes opérant dans la chambre

$q_p$  : Quantité de chaleur dégagée par unité de temps pour une personne en activité dans la chambre

t : durée de présence de chaque personne dans la chambre froide en (h/j)

température de la chambre froide (c°)	Quantité de chaleur dégagée par de temps $q_p$ (w)
15	200
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390

Tableau (3.14) : quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne activité moyenne donne une chambre froide

### Chapitre III : Calcul et dimensionnement

Donc :

$$Q_{pe} = 4 * 390 * 8/24$$

$$Q_{pe} = 520 \text{ w}$$

⇒ **Charge thermique des denrées entrantes  $Q_{de}$  :**

$$Q_{de} = m * C_p * \Delta T/86400 \quad (\text{k w})$$

Avec :

M : la masse des denrées introduites chaque jour=400 kg/jour

$C_p$  : Chaleur massique spécifique = 3,77 KJ/Kg

$\Delta T$  : Ecart température entre les denrées entrantes et celle de la chambre froide = 33c°

Donc :

$$Q_{de} = 400 * 3,77 * 33/86400$$

$$Q_{de}=0,575 \text{ k w}$$

$$Q_{de}=575 \text{ w}$$

⇒ **Charge thermique due à la respiration de la denrée  $Q_{resp}$  :**

$$Q_{resp} = m * \frac{q_{resp}}{86400}$$

$$Q_{resp} = 400 * 175/86400$$

$$Q_{resp} = 0,810 \text{ kw} \quad \text{Donc} \quad Q_{resp} = 810 \text{ W}$$

⇒ **Charge thermique de ventilation  $Q_V$  :**

$$Q_v = n * p * \tau_{evap} / \tau_{inst} \quad \text{En (w)}$$

Avec :

N : nombre de moteur de ventilateur

P : puissance de ventilateur considère en (w)

$\tau_{evap}$  : Durées de fonctionnement de ventilateur en (h/d)

### Chapitre III : Calcul et dimensionnement

$\tau_{inst}$  : Durées de marche de l'installation frigorifique en h/d (en générale 18h/d pour les chambres négatives et 16h/d pour les chambres positives)

Donc :

$$Q_v = 2 * 1500 * 18/18$$

$$Q_v = 3000 \text{ w}$$

⇒ **Charge thermique due aux résistances de dégivrage  $Q_{dég}$  :**

$$Q_{dég} = n * p * T_{dég} / \tau_{ist} \quad (\text{w})$$

$$Q_{dég} = 3 * 1500 * 1,33/18$$

$$Q_{dég} = 332,5 \text{ w}$$

⇒ **Puissance frigorifique intermédiaire (w):**

<b>1</b>	Les apporte thermique a travers les parois $Q_{tp}$	1862 ,456
<b>2</b>	Charge thermique par ouverture des portes $Q_{OP}$	45,01
<b>3</b>	Personnel $Q_{pe}$	100
<b>4</b>	Charge thermique des denrées entrantes $Q_{de}$	520
<b>5</b>	L'éclairage $Q_{ec}$	575
<b>6</b>	Charge thermique de la ventilation $Q_v$	810
<b>7</b>	Charge thermique la respiration de la denrée $Q_{resp}$	3000
<b>8</b>	Charge thermique dégivrage $Q_{dég}$	325,5
<b>9</b>	<b>Charge intermédiaire</b>	<b>7201,966</b>

Tableau (3.15) : Les différentes charges sur la chambre SAS

Donnée par l'expression suivante :

$$Q_{int} = Q_{tp} + Q_{op} + Q_{pe} + Q_{de} + Q_{ec} + Q_{vent} + Q_{resp} + Q_{dég}$$

$$Q_{int} = 1826,456 + 45,01 + 100 + 520 + 575 + 810 + 3000 + 325,5$$

$$Q_{int} = 7201,966 \text{ w}$$

⇒ **Puissance frigorifique total :**

$$Q_T = Q_{int} * 24 / \tau_{inst}$$

$$Q_T = 7201,966 * 24/18$$

Donc :

$$Q_T = 9602,62 \text{ w}$$

$$Q_T = 9,602 \text{ kw}$$

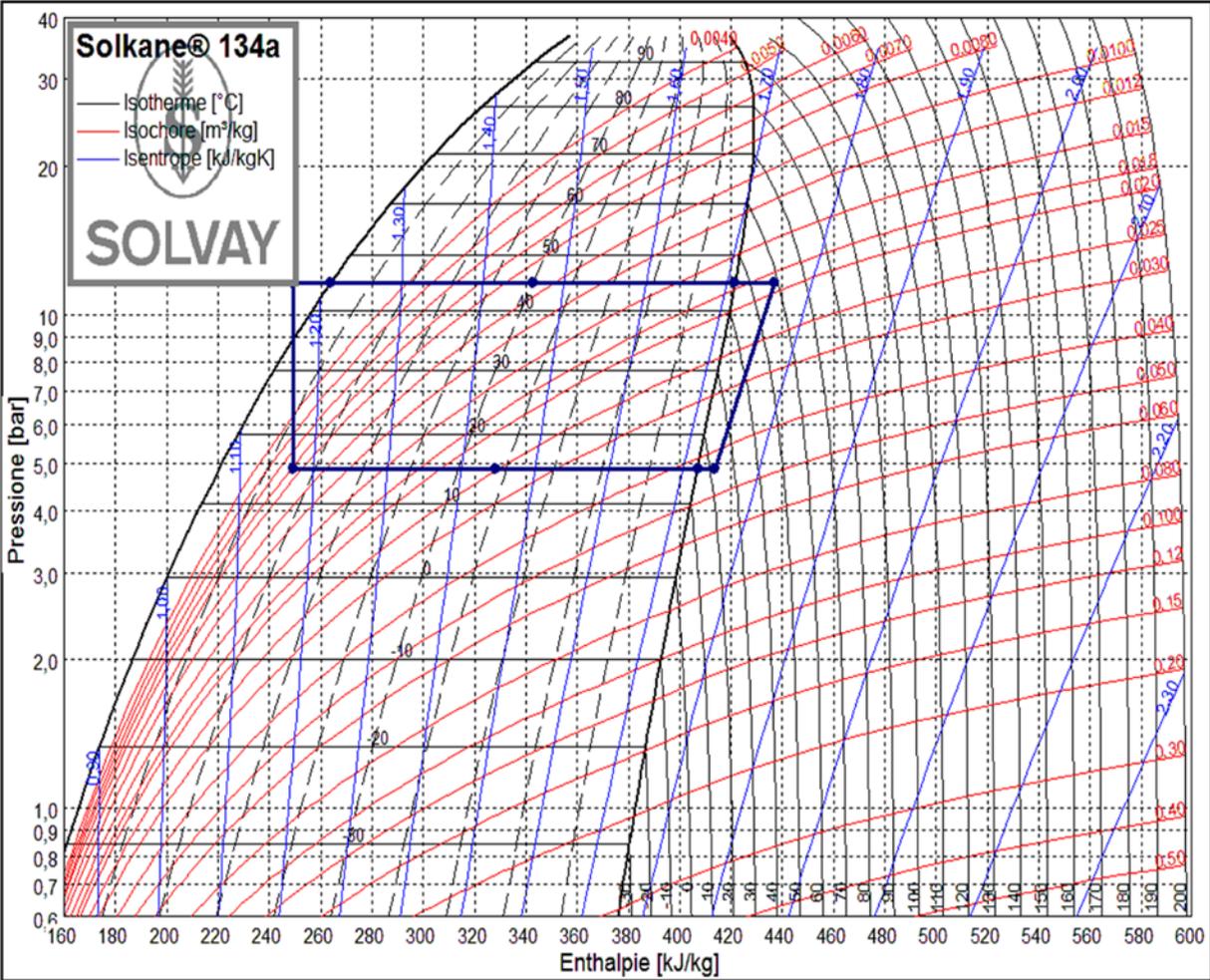


Diagramme (3.3) frigorifique du SAS

# Conclusion

Notre étude est théorique mais basée sur des données réelles, ce qui nous a permis de comprendre l'importance et la nécessité de prendre en compte tous les éléments qui interviennent dans l'étude et dimensionnement d'une chambre froide, à partir de son emplacement jusqu'au choix des équipements convenables pour une telle ou telle installation frigorifique.

On a effectué des calculs particuliers et précis du bilan thermique qui sont indispensables au choix et au dimensionnement correct des équipements frigorifiques ; car les erreurs commises à ce niveau risquent d'être irréparables, si elles apparaissent après la réalisation du projet

Ce projet nous a permis de mettre en application les connaissances acquises durant notre formation. Par ailleurs il constitue une interaction de plusieurs domaines de l'ingénierie tels que la transmission de chaleur, le froid, la climatisation avec l'utilisation des logiciels conçus pour ce domaine.

Une analyse économique et environnementale permettra enfin de voir la rentabilité économique et la faisabilité du projet, chose qui demande encore d'autres études.

# NOMENCLATURE

	<b>Définition</b>	<b>unité</b>
K	Coefficient de transmission thermique de paroi	$(W/m^2K)$
S	Surface des parois	$(m^2)$
$\Delta T$	Différence de température des 2 côtés de la paroi	
$\frac{1}{h_i}$	Résistance thermique superficielle interne	$(m^2 \cdot k/w)$
$\frac{e_{iso}}{\lambda_{iso}}$	Résistance thermique des couches des matériaux constituant les parois	$(m^2 \cdot k/w)$
$\frac{1}{h_e}$	Résistance thermique superficielle externe	$(m^2 \cdot k/w)$
N	Nombre de renouvellement d'air	
V	Volume de la chambre froide	$(m^3)$
$t_a$	Température de la chambre froide	$(kg / m^3)$
$\rho_a$	Masse volumique de l'air du côté de la porte autre que la chambre froide	$(kg / m^3)$
$\rho_f$	Masse volumique de l'air dans la chambre froide	$(kg / m^3)$
$S_P$	Surface des portes	$(m^2)$
$C_{ra}$	Coefficient de minoration rideaux d'air	$C_{ra} = 0.25$
$d_t$	Durée moyenne ouverture des portes	$(min/h)$
$f_i$	Flux journalier des marchandises	$(tonne/ jour.)$
N	Nombre de luminaires	
P	Puissance de chaque luminaire	$(W)$
T	Durée de fonctionnement des luminaires	$(h/j)$
N	Nombre de personnes opérant dans la chambre	
$\tau$	Durée de présence de chaque personne en activité moyenne dans la chambre	$(h/j)$
I	Nombre de machine	
P	Puissance de chaque machines	

$\tau$	Durée de fonctionnement	(W)
M	Masse de denrées introduites chaque jour	(h/j)
$C_1$	Capacité thermique massique de $t_1$ et $t_2$	(kJ/kg k)
$T_1$	Température initiale	(c°)
$T_2$	Chaleur latente massique de congélation	(kJ/ kg. k)
$C_2$	Capacité thermique massique	(kJ/ kg. k)
$T_3$	Température d'entreposage	(c°)
M	Masses de marchandise considérée	(kg)
$Q_{RESP}$	Chaleur de respiration considérée	(kJ/kg c°)
$Q_{INT}$	Charge thermique intermédiaire	
$\tau_{inst}$	Durée de marche de l'installation frigorifique	(h / J)
N	Nombre de moteurs de ventilateurs	
P	Puissance du ventilateur considérée	(W)
$\tau_{evap}$	Durée de fonctionnement des ventilateurs	(h / J)
$\tau_{inst}$	Durée de marche de l'installation frigorifique	(h / J)

## Références Bibliographiques

- [1] W.MAAKE- H.-J. ECKERT – Jean-Louis CAUCHEPIN, PYC .éditions. 1993, Le Pohlman –Manuel technique du froid.
- [2] Évaluation des ambiances froides. Détermination de l'isolement. Rapport technique. ISO/TR11079. Décembre 1993. Saint-Denis La Plaine: AFNOR
- [3] L. PALANDRE, S. BARRAULT, D. CLODIC Inventaires et prévisions des émissions de fluides frigorigènes – Centre d'énergétique des Mines de Paris – Année 2002.
- [4] CF mnLog TECHNIQUE GENERALE Edition : juillet07 YSH04054
- [5] M.LALLEMAND Froid industriel  
DATE DE PUBLICATION 1980 EDITION INSA LYON
- [6] P.RAPIN. Formulaire du froid . éditions DUNOD apparu le 06 07 2006 France
- [7] Technique de l'ingénieur édition –formation conseil
- [8] Fluides frigorigène auteur jean desmons edition DUNOD 05.04.2016

# RESUME

## Resumé

On a fait une étude de réalisation d'une chambre froide composée de deux chambres, une négative et autre positive et cela pour le stockage de la viande et de la pommes .

Et pour cela, on a étudié tout les paramètres qui interviennent dans le calcul des déperditions thermiques pour bien définir la puissance frigorifique juste nécessaire à garder la qualité et durabilité de ces aliments.

Nos résultats sont satisfaisants puisque on a eu une puissance totale nécessaire très raisonnable et praticable.

**Mots clés** : réalisation, déperditions thermique, puissance frigorifique

## Abstract

A study about realization of a cold room composed of two chambers, one negative and the other positive and that for storage of meat and apples

And for that we have studied the calculations which intervene in the heat loss to determine the refrigerating power necessary to keep the quality and the durability of these foods.

Our results are satisfactory since we had a necessary total power reasonable convenient

**Key words**: realization, heat loss, cold power

## الملخص

تتكون الدراسة من غرفة باردة مكونة من غرفتين، واحدة سلبية والأخرى إيجابية وذلك من اجل تخزين اللحوم والتفاح

ولهذا قمنا بدراسة الحسابات التي تتدخل في فقدان الحرارة لتحديد قدرة التبريد اللازمة للحفاظ على جودة ومثانة هذه

الأطعمة نتائجا كانت مرضية منذ ان وجدنا إجمالي الطاقة اللازمة المطبقة معقولة

الكلمات المفتاحية : تحقيق, تسربات الحرارة, قوة التبريد