REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



FACULTE DES SCIENCES E T DE LA TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE DE LA MATIERE

Mémoire de Fin d'études

Pour l'obtention du diplôme Master en en Génie Climatique

Option : énergie et froid industriel.

Thème

ETUDE D'UNE CHAMBRE FRIGORIFIQUE POUR LA CONGELATION DE POISSON

Présenté par :

- **GHETTAS Rachida**
- **BENMOUSSA Siham**

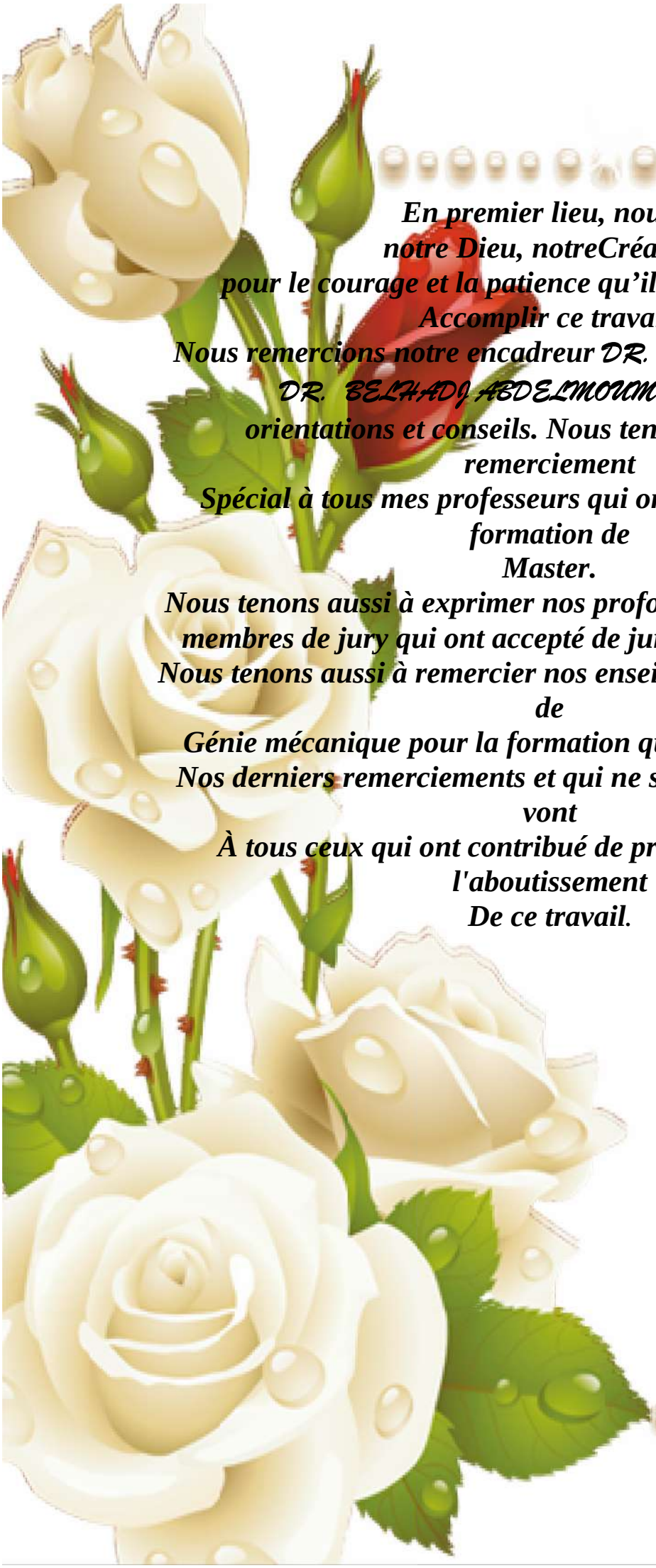
Encadré par :

Dr . ABUDURA Salam

Co-promoteur:

Dr .BELHADJ Abdelmouneim

Promotion 2016/2017



Remerciement

En premier lieu, nous tenons à remercier notre Dieu, notreCréateur, pour le courage et la patience qu'il nous donné pour Accomplir ce travail.

Nous remercions notre encadreur DR. ABOUDURA Salam et DR. BELHADJ ABDELMOUMEN Pour ses orientations et conseils. Nous tenon à notifier un remerciement

Spécial à tous mes professeurs qui ont contribué à notre formation de Master.

Nous tenons aussi à exprimer nos profonds remerciements au membres de jury qui ont accepté de jury ce modeste travail.

Nous tenons aussi à remercier nos enseignants de département de Génie mécanique pour la formation que nous avons reçue.

Nos derniers remerciements et qui ne sont pas les moindres, vont À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement De ce travail.

Dédicaces

Je remercie tout d'abord dieu le puissant, car
C'est lui notre créateur et notre juge.
Et je dédie ce travail :
Mes très chers, respectueux et magnifique parents qui m'ont soutenue tout au long de ma Vie
Papa et Mama je vous aime
A mes frères : Abdenour, Nasrou
A ma sœur : Amina
A ma chère cousine :Fatiha
A toute la famille :GHETTAS,KOUN
A touts mes amis
A toute personne qui m'ont encouragée ou aidée au long de mes études.

Rachida

Dédicaces

Je tiens à dédier ce mémoire :

A mon très chèr ***Père*** *et à ma chere* ***Mère*** *, en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affections sans limite.*

A mes frères : ***Fathi ,Adel.***

A ma sœurs : ***Rihab***

A mes nièces : ***Foufou,Khawla ,Amani ,Samira et Fathia***

A mon fiançai : ***ACHRAF***

*A toute la famille :****BENMOUSSA ET KECHIDA*** *.*

A touts mes Amis

Je remercie mon amie et binôme ***Rachida*** *qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

Siham

Résumé :

Le froid prend de nos jours de plus en plus d'importance dans notre vie que ce soit pour la conservation des aliments dans les processus industriels ou pour le confort personnel. Le but de l entreposage frigorifique est d'optenir un temps de conservation denné en fonction de la nature des denrées et des exigences commerciales, avec des frais de conservation réduits au maximum, sans que leur valeur marchande soit dépréciée, du fait d un changement de coloration, d un ratatinement ,de flétrissure pour les tissus animaux , de rancidité du fait d une perte dé poids excessive, etc.

Notre projet se propose d'être une modeste contribution a l étude du très sérieux problème de stockage et congélation des poisson.

A cet effet , on a obté pour une chambre frigorifique dans la région de Médéa

Abstract :

The réfrégération has in present more and more importance in humain life than for the cold storage is to obtain and give conservation time depending on the nature of the food and the comercial requirements with minimized costs of conservation , but their market value is impered ,a shrivelling of stigma for animal tissues, rancidity due to excessive weight loss dice ,etc

Our project proposes to be a modest contribution to the study of very serious problem stokage and freezing of fish.
To this end, it has re frigoréfique for a room in the Med

ملخص:

ان التبريد في وقتنا الحاضر يكتسب اهمية بالغة وذلك في حفظ الاغدية في مجال الانتاج الصناعي او في حياتنا اليومية .

ان عملية التبريد في ميدان التخزين والحفظ مرتبطة بنوعية المواد المخزنة التجارية مما يجبرنا على تقليل تكلفة حفضها مع مراعات عدم اتلاف نسيجها الحيوي وذلك بطريقة تتيح لنا عدم التقليل من وزنها .

ان هدف عملنا هو تكوين دراسة لحل المشاكل المرتبطة بغرف التبريد او بشكل ادق التقليل من خسارة وزن المنتوج المراد حفظه.

من اجل ذلك فقد وقع اختيارنا على غرفة تبريد تتواجد في ولاية المدية .

Sommaire

Remerciements et dédicace

Résumé

Sommaire

Liste des figures et Liste des tableaux

Nomenclature et Symboles

Introduction général…… **01**

Chapitre I : Généralités sur le froid

Introduction…… **03**

I.1. Notion de froid…… **03**

I.2. Modes de production du froid…… **04**

I.3. Principe de froid…… **04**

I.4. Application de froid…… **05**

I.5. Etude thermodynamique…… **07**

I.5.1. Premier principe…… **07**

I.5.2. Deuxième principe…… **07**

I.6. Système frigorifique à compression mécanique…… **08**

I.6.1. Principe de fonctionnement…… **08**

I.6.2. Description de cycle d'un fluide frigorigène (fonctionnement)…… **09**

I.6.3. le coefficient de performance…… **10**

I.7. Classification des machines frigorifiques…… **10**

I.7.1. Classification par source d'énergie absorbée…… **10**

I.7.1.1. Systèmes frigorifiques consommant de l'énergie mécanique (ou électrique)…… **10**

I.7.1.2. Systèmes frigorifiques consommant de l'énergie calorifique…….. **11**

I.7.2. Classification selon le mode de fonctionnement…….……...… **11**

I.7.2.1. Les phénomènes de transfert thermique……..……. **11**

I.7.2.2. Machine utilisant la vaporisation d'un frigorigène……..…… **11**

I.8. Avantages et inconvénients d'une installation frigorifique à compression mécanique……...…….. **11**

I.9. Les fluides frigorigènes……..…… **12**

I.9.1. Critères de choix d'un fluide frigorigène…….……... **12**

I.9.2. Classification…… **13**

I.10. Froid et développement durable……...… **17**

Conclusion …….……...…… **17**

Chapitre II : Les chambres froides

Introduction……..…… **18**

II.1.Définition de chambre froide……...…...…...……... **18**

II.2. Objectif d'utilisation de chambre froide……...……. **18**

II.3. Les catégories de chambres froides……...…… **19**

II.4. Les types de chambre froide……...…….…….. **20**

II.4.1. La chambre froide positive……..……... **20**

II.4.2. La Chambre froide négative…….....…….… **21**

II.5. La construction d'une Chambre froide……..…… **21**

II.6. Le rôle d'une chambre froide…..……...…… **22**

II.7.D'autres utilisations de la chambre froide…….… **22**

II.8. Le dégivrage et la régulation……..…….…….. **22**

II.8.1.Généralité……... **22**

II.8.2. Conditions……...… **23**

II.8.3. Commande du dégivrage……....……..…. **23**

II.8.4.Début……..… **23**

II.8.5.Séquence……..…..… **24**

II.8.6. Arrêt……...…….....… **24**

II.8.7. Différents modes de dégivrage des chambres froides positive…….....… **24**

II.8.8. Les dégivrages automatiques…….……..… **25**

II.9.Sécurités de fin de dégivrage…….....…..… **26**

Conclusion…….……...… **26**

Chapitre III : Application de froid pour les produit alimentaire (poisson)

Introduction……..…… **27**

III.1. La chaine de froid…….……..……. **27**

III.2. Les techniques de conservation par le froid…….…… **27**

III.2.1. Trois techniques de conservation……...…….. **28**

III.2.1.1. La réfrigération…….……...…….. **28**

III.2.1.2. La congélation…….……..……..… **28**

III.2.1.3. La surgélation (congélation rapide)……...… **28**

III.3.Règles d'application du froid…….…...……... **30**

III.4. Intérêts et contraintes les produits de la mer……...……. **30**

III.5. Applications du froid dans filière agroalimentaire(Poissons)……..… **31**

III.6. Conservation de quelques denrées…….…….. **31**

III.7. Composition de poissons et viandes…… **32**

III.8. Catégories de poisson congelé……. **33**

III.9. Apports nutritionnels caractérisant les viandes et poisson de groupe…….. **34**

III.10. La congélation des poissons frais et cuisinés……..… **35**

III.10.1. La congélation des poissons…… **35**

III.10.2. La qualité du poisson à congeler……..… **35**

III.10.3. La préparation du poisson à la congélation……..……... **35**

III.10.4. Les techniques de congélation…… **35**

III.10.5. Les recettes de poisson congelables…….….. **36**

III.11.Méthodes de conservation par congélation…… **36**

III.12. Vitesse de congélation et décongélation……...…. **38**

III.13. La durée de conservation et la décongélation du poisson…….. **39**

III.14. Facteurs d'altération……... **40**

III.14.1. Teneur en eau libre de la viande et poisson…… **40**

III.14.2. Humidité de l'air……. **40**

III.14.3. Teneur en oxygène…….. **40**

III.14.4. Température d'entreposage……. **40**

III.14.5. Degré d'acidité…… **41**

III.15. Influence de la microflore psychrophile et psychotrope sur la viande et poisson réfrigérées…….…….....……... **41**

III.16. Influence des conditions de conservation et de décongélation du poisson congelé sur ses qualités nutritionnelle organoleptiques…….….. **41**

III.16.1. Evolution de la qualité hygiénique (micro-organismes parasites)……... **41**

III.16.2. Evolution de la qualité nutritionnelle…….. **41**

III.16.3. Evolution des qualités organoleptiques et pertes d'eau……... **42**

III.16.4. Influence des conditions de décongélation…….… **42**

III.17. Recommandations…….…… **42**

Conclusion…… **43**

Chapitre IV : calcul du bilan frigorifique

Introduction……..…… **44**

IV.1. Description de notre chambre froide…….....……... **44**

IV.1.1. Représentation de la chambre froide…...……...……..……. **44**

IV.1.2.Détermination des coefficients d'échange superficiels et étude de l'isolation thermique…… **45**

IV.1. 2.1.Détermination des coefficients d'échanges superficiels…….. **45**

IV. 1. 2.1.1. Différents modes de transfert de chaleur……..... **45**

IV.I.2.1.1.1. Convection…….....…… **45**

IV.1.2.1.1.2. Rayonnement ……..…….. **45**

IV.1.2.1.1.3. Convection…….……...……...…… **45**

IV.1.2.1.1.4. Equation de transfert de chaleur……..… **45**

IV.1. 2.1.2.Méthode de calcul des coefficients d'échange superficiel…..……..….. **46**

IV.1.2.1.2.1. Coefficients intérieures……...…….….... **46**

IV.1. 2.1.2.1.1. Calcule de coefficient d'échange par convection (α_{ic})…… **46**

IV.1.2.1.2.1.2. Convection libre (α_{icl})……...……..…. **46**

IV.1. 2.1.2.1.3. Convection forcée (α_{icf}) ……...……...… **47**

IV.1. 2.1.2.1.4. Calcule du coefficient d'échange par rayonnement……...… **48**

IV.1.2.1.2.2. Coefficients extérieurs……..…… **48**

IV.1.2.1.2.2.1. Propriétés physique de l'air……...…… **49**

IV.1 .3.L'isolation thermique…… **50**

IV.1.3.1. Pourquoi isolé…… **50**

IV. I .3.2. Isolants…….……...… **50**

IV. 1.3.2.1. Les épaisseurs des isolants……...…… **50**

IV.2. Le bilan frigorifique…….....…….…… **51**

IV. 2.1. Les charges thermiques externes……...……..… **51**

IV. 2.1.1. Charge thermique par transmission à travers les parois (Q_{tr})……...…...… **51**

IV.2.1.2. Charge thermique par renouvellement d'air (Q_{re})……..……...… **52**

IV.2.1.3. Charge thermique due à l'ouverture de portes (Q_{op})……...……...……… **53**

IV.2.2.les charges internes……...……..… **53**

IV.2.2.1.charges thermiques internes indépendantes des médicaments entreposées…… **53**

IV.2.2.1.1.charges thermiques dues à l'éclairage(Q_{ec})…….…… **53**

IV.2.2.1.2.charges dues aux personnes(Q_{pe})…..…….…… **53**

IV.2.2.1.3. Charges thermiques dues au matériel roulant(Q_{mr})……..…..… **54**

IV.2.2.1.4. Charges thermiques dues à des machines diverses(Q_{md})…….…..… **54**

IV.2.2.2. Charges thermiques internes dépendantes des produits entreposées…..… . **54**

IV.2.2.2.1. Charges thermiques dues aux produits entrants……...…. **54**

IV.2.2.2.2. Charges thermiques due à la respiration des produits (Q_{resp}).……..… **55**

IV.2.2.2.3. Charges thermiques dues aux moteurs des ventilateurs de batteries....… **55**

IV.2.2.2.4. Charge thermique due aux résistances dégivrage ($Q_{dég}$)……..… **55**

IV.2.3. Charges thermiques incalculables……..…… **56**

IV. 2.4. Charge thermique totale Corrigée…… **56**

IV.2.5. Calcul de la puissance à installer……..……. **56**

IV.3.Méthode de calcul…… . **56**

IV. 3.1. Les charges thermiques externes…….…….. **56**

IV.3.1.1. Charge thermique par transmission à travers les parois (Q_{tr})…….. **56**

IV. 3.1.2. Charge thermique par renouvellement d'air (Q_{ra})…….. **57**

IV. 3.1.3. Charge thermique due à l'ouverture de portes (Q_{op})…… . . **58**

IV. 3.2.les charges internes……..……. **58**

IV. 3.2.1.charges thermiques internes indépendantes des poissons entreposés...…. **58**

IV.3.2.1.1. Charge thermique due à l'éclairage (Q_{ecl})……..…..…. **58**

IV.3.2.1.2. Charge thermique dues aux personnes…… . **58**

IV.3.2.1.3. Charge thermique dues aux matériels roulants(Q_{mr})……..…….. **59**

IV.3.2.1.4. Charges thermiques dues aux machine diverses…… .. **59**

IV.3.2.2. Charges thermiques internes dépendantes des produits entreposées…..…. **59**

IV.3.2.2.1. Charges thermiques dues aux produits entrants…….…..……. **59**

IV.3.2.2.2. Charges thermiques dues aux moteurs des ventilateurs de batteries…… **59**

IV.3.2.2.3. Charges thermiques dues à la respiration des denrées……..… **60**

IV.3.2.2.4. Charge thermique due aux résistances dégivrage ($Q_{dég}$)…….……. . **60**

IV.3.3. Charges thermiques incalculables……..…. **60**

IV.3.4. Charge thermique totale Corrigée…….…...….. **60**

IV.3.5. Calcul la puissance à installer……. **60**

Conclusion…….....……. **60**

Chapitre V : Dimensionnement de compresseur

Introduction ……...…….....**61**

V.1.2. Les caractéristiques de compresseurs ……..……..**62**

V.1.2.1. Caractéristiques géométriques ……..….....**62**

V.1.2.2. Caractéristiques mécaniques …….…...…**62**

V. 1.2.3.caractéristiques thermique …….....**62**

V. 1.2.4. Caractéristiques qualificatifs ……..…...**63**

***V.1*.3**.Méthode de dimensionnement ……..….**64**

V.2. Calcule et choix de compresseurs…….....…**65**

V.2.1.Le choix des compresseurs de notre chambre de réfrigération ……... **65**

CONCLUSION ……..…..……..…….. .**70**

Conclusion générale

Bibliographie

LA LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Exemples de désignation des corps purs R12 – R22 – R134a…… **14**

Tableau I.2 : Caractéristiques des principaux fluides frigorigènes…….. **16**

Tableau III.1 : les durées de conservation par différentes température de Congélation…….... **37**

Tableau III.2 : les durées de conservation pour différentes températures de congélations…….….. **38**

Tableau III.3 : Bactéries et température de croissance…….……... **40**

Tableau VI.1 : Les dimensions de la chambre froide…….…….……. **44**

Tableau VI.2 : Les conditions opératoires de la chambre froide ……..... **44**

Tableau VI.3: les valeurs de coefficients globeux de convection sur les murs….. **46**

Tableau VI.4: Détermination de régime d'écoulement et les valeurs des constants C et a……..…….... **47**

Tableau VI.5: les caractéristiques physique de l'air …….……... **49**

Tableau VI.6 : les coefficients superficiels de la chambre froide …….... **50**

Tableau VI-7 : les épaisseurs d'isolants et les coefficients de transmission thermique de la chambre froide ……..….... **50**

Tableau VI.8 : la quantité de chaleur en fonction de la température……...…... **54**

Tableau IV.9 : caractéristiques de la chambre froide…….…..... **57**

Tableau VI.10 :les charges thermiques de la chambre froide (-18°C)…….…... **60**

Tableau V.1 : Les différents points de cycles frigorifique ……..**66**

Tableau V.2 : Les données de départ……...**68**

Tableau V.3 : Les caractéristiques de compresseur utilisé…….……**68**

Tableau V.4 : Informations techniques…….……..……...……**69**

Tableau V.5 : Informations moteur……..……**69**

LA LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Principe de froid……..…….… **04**

Figure I.2 : conservation des produits médicaux……..…… **05**

Figure I.3 : conservation des aliments……..…… **05**

Figure I.4 : liquéfaction des gaz……...…… **05**

Figure I.5 : rafraichissement…….… **06**

Figure I.6 : conservation des produits chimiques…….…… **06**

Figure I.7 : la glace carbonique……..……..… **06**

Figure I.8 : principe thermodynamique d'un système fermé……..……. **07**

Figure I.9 : machine frigorifique (transfert de chaleur d'une source froide à une source chaude)……..……. **07**

Figure I.10 : Cycle à compression mécanique…….…. **08**

Figure I.11 : Diagramme enthalpique du cycle frigorifique à compression mécanique……..…… **09**

Figure II.1: La chambre froide positive …….. **20**

Figure II.2: La chambre froide négative…….. **21**

Figure II.3: schéma d'un thermostat de régulation…….. **25**

Figure III.1: Température de conservation de quelques aliments……... **32**

Figure IV.1 : Représentation de la chambre froide……... **44**

Figure V.1 : Le cycle frigorifique de la chambre froide (-18°C)……..**65**

Figure V.2 : Schéma de l'installation frigorifique de la chambre froide (-18°C)…..**67**

Symbole	Désignation	Unité
S_u	Surface de la chambre	[m²]
Φ	Le flux de chaleur	[W]
λ	Conductivité thermique de l'air	[W/m°K]
e	Epaisseur de matériau	[m]
σ	Constante de boltzmann	[W/m²°K^4]
t	Température	[°C]
α_c	Coefficient de transfert de chaleur par convection	[W/m²K]
K	Coefficient thermique globale de transmission de la paroi considérée	[W/m²K]
ΔT	Différence de température des deux cotés de la paroi considérée	[°C]
α_i	Coefficient d'échange superficiel intérieur	[W/m². °C]
α_{ic}	Coefficient d'échange superficiel par convection	[W/m². °C]
α_{ir}	Coefficient d'échange superficiel par rayonnement	[W/m². °C]
α_{icl}	Coefficient d'échange superficiel par convection libre	[W/m². °C]
α_{icf}	Coefficient d'échange superficiel par convection forcée	[W/m². °C]
P_r	Nombre de BRANDT tiré du tableau thermodynamique	_
μ	Viscosité dynamique de l'air	[kg/ms]
G_r	Nombre de GRASHOFF, caractérisé l'écoulement libre.	_
g	Accélération gravitationnelle	[m²/s]
β	Coefficient de dilatation	[°K]
t_m	Température moyenne à laquelle sera déterminée toutes les propriétés	[℃]
ν	Viscosité cinématique de l'air	[m²/s]
t_i	température intérieure	[°C]
t_{pi}	température de la paroi	[C°]
R_e	Nombre de RAYNOLDS caractérise l'écoulement forcé	[-]
q_r	Flux de chaleur unitaire échangé par rayonnement	[kcal/hm²]
C_{12}	Coefficient de rayonnement entre l'air et la paroi	[kcal/hm² °K^4]
C_0	Coefficient d'émission du corps noir	[kcal/hm² °K^2]
A_p	Coefficient d'absorption de la tôle d'acier	[-]
S_p	Surface de la paroi	[m²]
S_r	Surface entourant de la paroi	[m²]

Nomenclatures

A_0	Coefficient d'absorption du corps noir	[-]
$m_{a,e}$	Débit d'air extérieur à renouveler admis	[kg/s]
Δh	Différence d'enthalpie entre l'air extérieur et l'air ambiant de la chambre froide	[kJ/Kg]
$h_{a,e}$	Enthalpie de l'air	[kJ/Kg]
$h_{a,a}$	Enthalpie de l'air intérieur	[kJ/Kg]
$V_{a,e}$	Débit volumique de l'air extérieur	[m^3/jour]
$\rho_{a,a}$	Masse volumique de l'air de la chambre	[Kg/m^3]
ρ_0	Masse volumique de l'air égale à 1.0293	[Kg/m^3]
V_{cf}	volume de la chambre froide	[m^3]
τ_p	Temps d'ouverture des portes	[min/heure]
L_p	longueur de la porte	[m]
h_p	hauteur de la porte	[m]
c_{ra}	Coefficient de minoration due à la présence éventuelle d'un rideau d'air .dans le cas d'une porte sans rideau	[-]
d_t	durée moyenne d'ouverture des portes pour permettre le passage des médicaments	[mn/Kg]
f_j	le flux journalier de médicaments	[Kg/jour]
Q_{ec}	charges thermiques dues à l'éclairage	[kw]
Q_{pe}	charges dues aux personnes	[kw]
Q_{mr}	Charges thermiques dues au matériel roulant	[kw]
Q_{op}	Charge thermique due à l'ouverture de portes	[kw]
Q_{tr}	Charge thermique par transmission à travers les parois	[kw]
Q_{md}	Charges thermiques dues à des machines diverses	[kw]
Q_{pr}	Charges thermiques dues aux produits entrants	[kw]
Q_{resp}	Charges thermiques due à la respiration des produits	[kw]
Q_{vent}	Charges thermiques dues aux moteurs des ventilateurs de batteries	[kw]
$Q_{dég}$	Charge thermique due aux résistances dégivrage	[kw]
Q_{Inc}	Charges thermiques incalculables	[kw]
Q_{tot}	Charge thermique totale Corrigée	[kw]
P	Puissance totale de chaque type de matériel roulant	[w]

q_p	Quantité de chaleur dégagée par unité de temps et par personne, elle dépend de la nature d'activité	[w]
τ	Durée de fonctionnement du matériel roulant pris en compte	[h/Dj]
n	Nombre de personne opérant dans la chambre de froide, nombre de matériels roulant d'un type donné, nombre de machine, nombre de ventilateurs, nombre de résistance électriques	[-]
m	Masse de produits introduites chaque jour	[Kg/jour]
C_1	Capacité thermique massique avant la conservation (réfrigération) du produit à entreposer	[Kg/jour]
t_1	Température initiale du produit introduite	[°C]
t_2	Température de la conservation des produits dans la chambre froide	[°C]
t_{ev}	La température d'évaporation	[°C]
t_c	La température de condensation	[°C]
P_i	La pression intermédiaire	[Bar]
V_b	Le volume balayé par les pistons	[m^3]
W	Vitesse de rotation	[tour/min]
D_m	Le débit massique de fluide	[Kg/s]
V_a	Volume aspire	[m^3]
V_o	Volume massique de fluide à la température d'évaporation et pression d'évaporation.	[-]
P_{ev}	Pression d'évaporation	[Bar]
COP	Le coefficient de performance	[-]
η_v	Le rendement volumétrique	[-]
$\square_{eff}$	Rendement effectif	[-]
$\square_m$	Rendement mécanique	[-]
$\square_i$	Rendement indiquée	[-]

Introduction générale :

Le froid est le terme utilisé pour désigner un manque relatif de chaleur, cependant dans un sens plus large, c'est un moyen de conserver des aliments ou des produits pouvant être altérés et détruits par la chaleur.

Le froid trouve de nombreuses applications dans des domaines très variées (industries agroalimentaires, médecine, confort thermique, pétroléochimie…) 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 produit en limitant (ou en supprimant) les altérations liées au développement des microorganismes, altérations très rapides dans les pays chauds à cause des conditions climatiques (température, humidité relative) qui sont favorables à la prolifération des bactéries, levures et moisissures. Pour les produits fabriqués par l'industrie agroalimentaire (lait, fromage…), le froid permet d'améliorer leur qualité en favorisant la maîtrise des conditions de fabrication par une optimisation des paramètres climatiques influençant le comportement des 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 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.

Dans le cadre de stockage et conservation des poissons en général et particuliérement celle relative à la chaine production poissons (conservation de courte et longue durée) ; on s'est intéressé à « l 'etude d'ue chambr frigorifique destiné à la conservation des poissons ».a cet effet on a opté pour une chambre spésialisé pour la conservation de poissons ;située dans la région de MEDEA.

Cette étude sera donc répartie en cinq chapitre ; initiés par une recherche bibliographique.dans le premier chapitre est rapportée une généralité sur le froid .le second chapitre sera consacré à les caractéristiques de chambres frigorifiques .le troisieme chapitre concerne l'applicatin de froid dans la conservation des poissons.dans le quatrieme chapitre bilan frigorifique sera calculé pour déterminé les puissances à installer dans notre chambre.le cinquieme chapitre est consacré sur le choix de compresseur .enfin ;à l'issu de ce manucrit , une conclusion general.

Introduction:

Le froid est l'absence de chaleur. Par comparaison, le froid est à la chaleur ce que l'obscurité est à la lumière.

La vie moderne impose le refroidissement des produits alimentaires en portant leurs températures au dessous d'une certaine température. Cette opération permet de les conserver plus longtemps. Le froid interdit aux bactéries et micro bactéries de se développer dans les aliments d'origine organique (viande, poisson…) ou végétale (fruits et légumes) ;
tout au moins il en ralentit considérablement le développement.

Le froid ne stérilise pas les aliments mais les stabilise seulement dans le processus de détérioration qui reprendra des que la température s'élèvera.
C'est approximativement entre 10 °c et 35 à 40°c que les activités microbiennes enzymatiques et les réactions d'oxydation atteignent leurs maximums. Leur ralentissement se suit entre 0 et -10°c les fruits quant à eux poursuivent leurs murissement même a basses températures.

Le froid possède des applications infinis dans touts les secteurs de l'activité humaine on peut citer :

- les industries alimentaires
- le confort de l'homme.
- La chimie.
- la médecine.
- La photographie.
- la métallurgie.
- la recherche scientifique.

I.1.Notion de froid :

C'est la sensation que fait éprouver l'absence, la perte ou la diminution de la chaleur.

Par comparaison : le froid et la chaleur ce qui l'obscurité est la lumière. Froid et obscurité sont des termes négatifs. Ils indiquent simplement l'absence ou la diminution, soit de la chaleur, soit de la lumière.

Le froid est devenu une forme d'énergie importante dans notre société. Utilisée dans un grand nombre de secteurs et sous de nombreuses formes (conservation de denrées périssables, climatisation, refroidissement de procédé industriels…etc.), elle n'est cependant pas sans effet sur notre milieu naturel.

I.2.Modes de production du froid :

La production du froid qui consiste à absorber la chaleur contenue dans un milieu peut être obtenue suivant plusieurs modes. De même, les applications du froid sont très variées.

Parmi les différents modes de production du froid, on peut citer :

- La détente d'un gaz comprimé
- La dissolution de certains sels
- La vaporisation d'un liquide en circuit fermé

La détente d'un gaz comprimé repose sur le principe de l'abaissement de température d'un fluide lors de sa détente.

La dissolution d'un sel dans l'eau provoque un abaissement de la solution. Ce n'est pas un phénomène très utilisé dans l'industrie frigorifique à cause de la nécessité de vaporisation ultérieure de (récupération du sel). Par exemple, le mélange de neige (4parties) et de potasse (3parties) fait baisser la température de la solution de 0°C à -40°C.

La vaporisation d'un liquide permet de produire du froid par l'absorption de la chaleur à travers un échangeur, la vapeur produite étant ultérieurement liquéfiée dans un autre échangeur, le fluide décrit ainsi un cycle au sein d'une machine fonctionnant de manière continue. Les machines utilisant ce principe peuvent être regroupées en deux grandes familles que sont les machines à compression mécanique et les machines à absorption. **[7]**

I.3. Principe de froid:

Le but recherché est l'extraction de chaleur d'un corps, ou d'un milieu, pour le refroidir ou le maintenir à une température inférieure à celle de l'ambiance, le système qui effectue cette opération prend naturellement le nom de machine frigorifique. L'effet utile est la chaleur extraite (ou le froid produit) à la source froide (Figure I.1). **[2]**

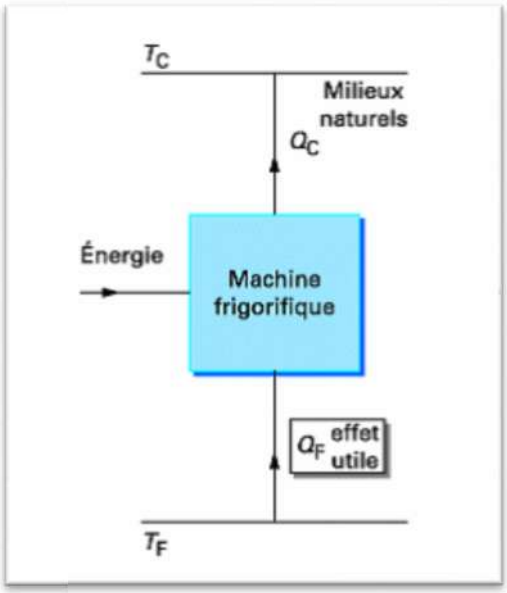


Figure I.1 : Principe de froid [2]

I.4. Application de froid :

- **Domaine médical :** cryochirurgie, conservation de certains produits, organes...



Figure I.2 : conservation des produits médicaux

- **Industries alimentaires :** conservation des aliments, pasteurisation du liquide...



Figure I.3 : conservation des aliments

- **Industries chimiques et pétrochimiques** : liquéfaction des gaz pour le transport, déparaffinage, débenzolage...



Figure I.4 : liquéfaction des gaz

- **Conditionnement des locaux :** rafraichissement de l'air, conditionnement des patinoires, canons à neige...



Figure I.5 : rafraichissement

- **Laboratoires d'essai et de recherche :** étude des matériaux et comportement de la matière à très basse température...



Figure I.6 : conservation des produits chimiques

- **Production de neige carbonique :** maintien du froid à basse température (-80°C) **[9]**



Figure I.7 : la glace carbonique

I.5. Etude thermodynamique :

I.5.1. Premier principe :

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

Dans un système cohérent d'unités, ce premier principe se traduit par la relation : **W + Q = 0**

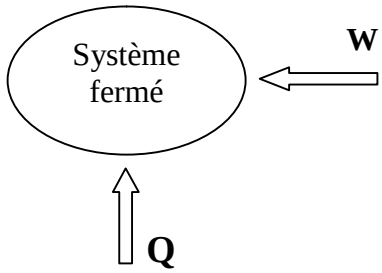


Figure I.8 : principe thermodynamique d'un système fermé

I.5.2. Deuxième principe :

Le premier principe met en évidence la conservation des énergies mises en jeu dans un système. Le second principe permet de connaître l'évolution d'un système. En effet, on peut transformer en totalité du travail en chaleur, mais on ne peut pas toujours transformer de la chaleur en travail.
Lorsqu'un système évolue de manière cyclique entre 2 sources de chaleur, on caractérise une source froide à la température T1 et une source chaude à la température T2. Les appellations « source froide » et « source chaude » sont des appellations relatives à un schéma déterminé. La température de la source chaude est toujours supérieure à la source froide**.**

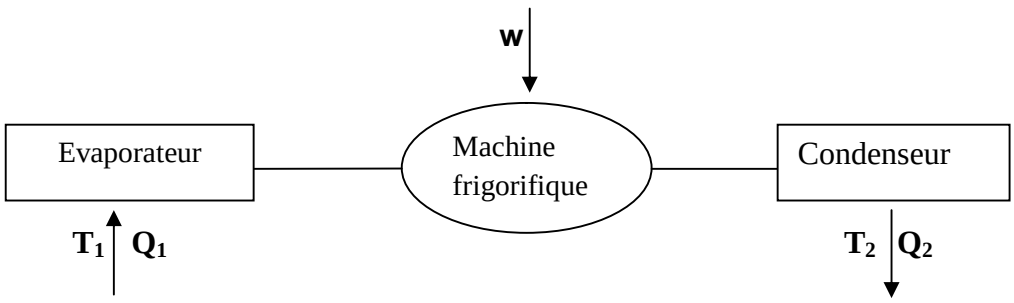


Figure I.9 : machine frigorifique (transfert de chaleur d'une source froide à une source chaude)

Le système reçoit de la chaleur Q1 de la source froide et du travail W. Il restitue de la chaleur Q2 à la source chaude.

En application du premier principe, on peut écrire :

W + Q1 + Q2 = 0 **……(I.1)**

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

Q2 = Q1 + W chaleur cédée
Q1 = Q2 – W chaleur prélevée

I.6. Système frigorifique à compression mécanique:

I.6.1. Principe de fonctionnement:

Le système frigorifique à compression de vapeur le plus courant fonctionne grâce à un frigorigène situé dans un circuit fermé comprenant un compresseur, un condenseur, un organe de détente, un évaporateur et des tuyauteries de raccordement (Figure I.10).
La vapeur du frigorigène comprimée à haute pression est condensée à haute température dans le condenseur par transfert de chaleur (Q_c) vers le milieu environnant.

La pression du frigorigène à l'état liquide est réduite dans le détendeur. A basse pression et basse température, le frigorigène se vaporise, ce qui permet d'extraire la chaleur (Q_f) de la substance à refroidir. Pour compléter le cycle, à la sortie de l'évaporateur, la vapeur du frigorigène à basse pression est comprimée et portée à haute pression par le compresseur. La chaleur totale rejetée au niveau du condenseur correspond à la somme de la chaleur extraite à l'évaporateur et de l'énergie (W_m) consommée par le compresseur. **[1]**

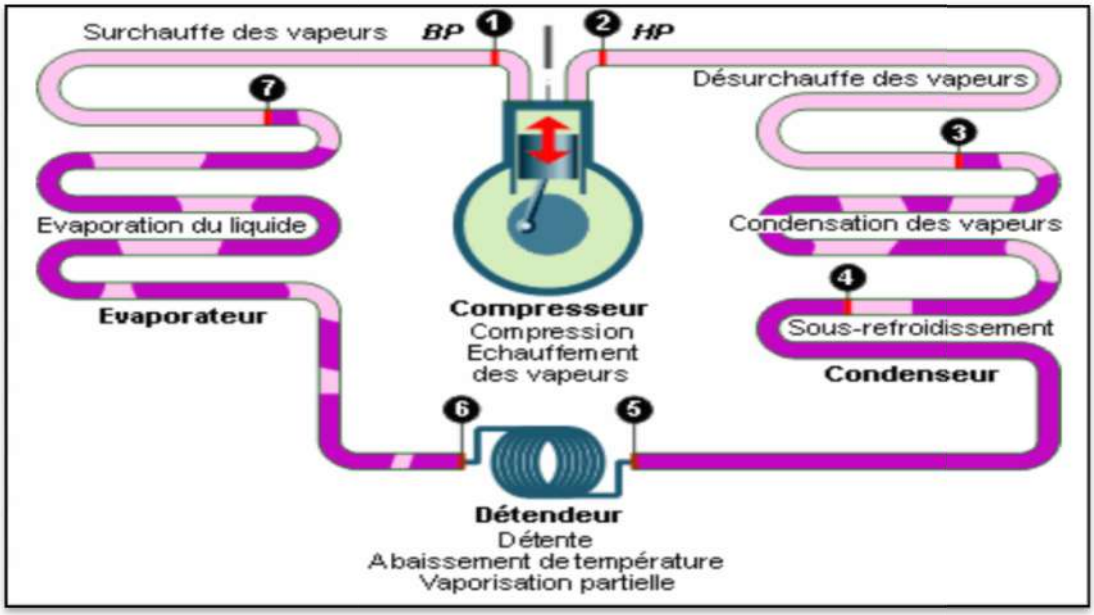


Figure I.10 : Cycle à compression mécanique [1]

I.6.2. Description de cycle d'un fluide frigorigène (fonctionnement) :

Dans l'évaporateur : le fluide frigorigène liquide entre ébullition et s'évapore totalement en absorbant la chaleur du fluide extérieur (air ambiant ou eau) qui va donc se refroidir le gaz formé est encore légèrem entré chauffée par le liquide extérieur c'est ce qu'on appelle la phase de surchauffe .

Dans le compresseur : le fluide frigorigène est aspire à l'état gazeuse sous basse pression et basse température il va permette d'élever la pression et la température de fluide qui se traduira par une augmentation d'enthalpie, en théorie la compression est adiabatique (ou isentropique). un compresseur réel présente des pertes importantes que nous pouvons regroupées en deux types :

- Les pertes volumiques
- Pertes mécanique.

Dans le condenseur : le gaz chaud provenant du compresseur va céder sa chaleur au fluide extérieur , les vapeurs de frigorigène se refroidissent (désurchauffe) avant l'application de la première goutte de liquide , puis la condensation s'effectue jusqu'à la disparition de la dernier bulle de vapeur , le fluide liquide peut alors se refroidir de quelques degrés (sous refroidissement) avant de quitter le condenseur .

Dans le détendeur : le liquide frigorigène subit une détente isenthalpique et va donc passer de la pression (HP) à la pression (BP) , le fluide frigorigène se vaporisé partiellement ce qui abaisse sa température.

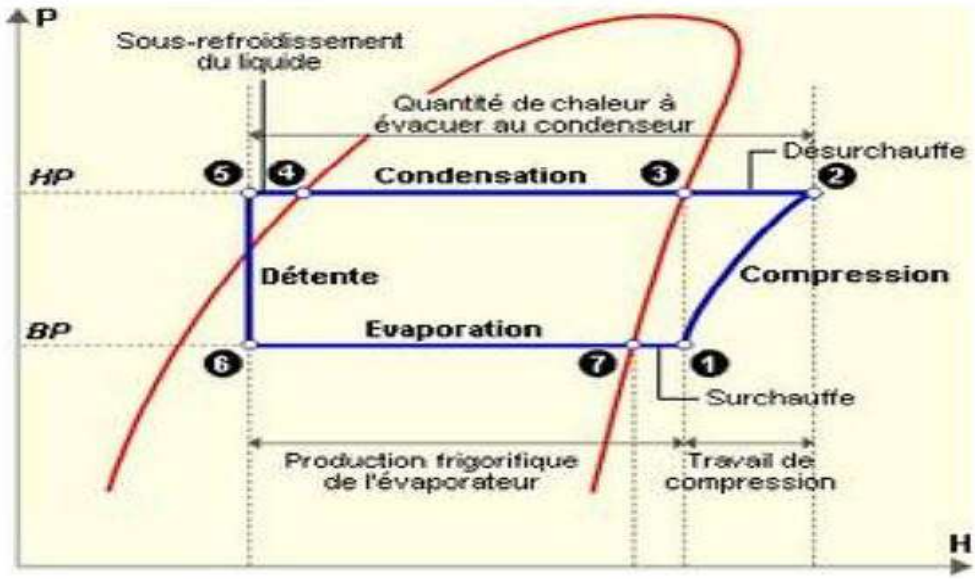


Figure I.11 : Diagramme enthalpique du cycle frigorifique à compression mécanique

Le cycle est fermé, le fluide frigorigène évolue sous actions du compresseur dans les quatre élément constituant la machines de production de froid (frigorifique) . l'ensemble du cycle peut être représente dans le diagramme enthalpie-pression sous la courbe en cloche se situent les états de mélange liquide-vapeur (à gauche de la cloche) le fluide est à l'état liquide (il se sous –refroidit) à droite et le fluide est à l'état vapeur (il surchauffe).

I.6.3. le coefficient de performance :

pour caractérise l'efficacité d'une machine frigorifique on considère le coefficient performance frigorifique noté COP_{froid}

$$\boldsymbol{COP_{froid}} = \frac{froid\ produit\ a\ la\ source\ froide}{energie\ appotyeé\ au\ systeme} = \frac{puissance\ frigorifique}{puissance\ absorbeé}$$

C'est le coefficient de performance réel : $\boldsymbol{COP} = \frac{\boldsymbol{Qeva}}{\boldsymbol{Wcomp}}$

Pour évaluer la machine frigorifique, il faut connaître les conditions dans lesquelles le COP a été déterminé. L'efficacité d'une machine frigorifique dépend, entre autres, de la température d'eau glacée (l'eau à la sortie de l'évaporateur) et de l'eau à la sortie ou à l'entrée du condenseur.

Il est également intéressant de se soucier de l'efficacité globale de la machine frigorifique installée, c'est-à-dire du rapport entre le froid produit et l'ensemble de toutes les consommations électriques engendrées, y compris les ventilateurs aux échangeurs, les pompes... On parlera alors dans la suite de ce rapport de $COP_{compresseur}$ lorsque la puissance électrique absorbée tient uniquement compte de la puissance électrique absorbée au compresseur, de $COP_{froid\ net}$ lorsque la puissance électrique absorbée tient compte de la puissance absorbée du compresseur et des ventilateurs du condenseur et, de $COP_{total\ net}$ lorsque la puissance électrique absorbée tient à la fois compte de la puissance électrique absorbée du compresseur, des ventilateurs du condenseur et des pompes de circulation. **[1]**

I.7. Classification des machines frigorifiques :

I.7.1. Classification par source d'énergie absorbée :

I.7.1.1. Systèmes frigorifiques consommant de l'énergie mécanique (ou électrique) :

Parmi ces systèmes, on trouve essentiellement les systèmes frigorifiques à compression de vapeur qui transfèrent de l'énergie calorifique d'un niveau de température : Inférieur Tf vers un niveau de température supérieur Ti. Ils sont donc au moins di-thermes.
D'après le second principe de la thermodynamique, ils doivent nécessairement consommer de l'énergie pour effectuer cette opération**.**

I.7.1.2. Systèmes frigorifiques consommant de l'énergie calorifique :

Le principe de fonctionnement de ces systèmes consiste à extraire ou fournir une quantité de chaleur en consommant de l'énergie calorifique. Ils sont constitués d'au moins trois sources de chaleur :

- source froide, à la température Tf
- source intermédiaire ou puits de rejet thermique à la température Ti
- source fournissant de la chaleur" motrice" à la température Tch.

I.7.2. Classification selon le mode de fonctionnement :

I.7.2.1. Les phénomènes de transfert thermique :

Pour extraire de la chaleur d'un milieu « froid » (source froide) vers un milieu chaud (puits de chaleur) un fluide frigorigène est utilisé comme vecteur, celui-ci est le siège de phénomènes physico-chimiques permettant de prélever, de transférer et de restituer la chaleur. Ainsi donc, pour extraire de la chaleur d'une source froide le fluide frigorigène subit en contact d'une source, un phénomène endothermique (qui consomme de la chaleur).
De la même manière, pour extraire la chaleur stockée par le fluide frigorigène afin de la restituer à la source chaude un phénomène exothermique (qui dégage de la chaleur) est utilisé. Dans la majeure partie des cas, une série de transformations qui ramène, périodiquement, le frigorigène dans son état initial, est décrite. Le cycle de fonctionnement ainsi décrit est appelé cycle frigorifique**. [7]**

I.7.2.2. Machine utilisant la vaporisation d'un frigorigène :

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

- Machine frigorifique à compression
- Machine frigorifique à éjection
- Machine frigorifique à adsorption
- Machine frigorifique à absorption

I.8. Avantages et inconvénients d'une installation frigorifique à compression mécanique:

- **Avantagées:**

- Très bon coefficient de performance.
- Simplicité du cycle et de machine.
- Bonne sécurité d'emploi, mais avec les frigorigènes actuels qui sont mis en accusation.
- Variation de puissance facile à mettre en œuvre.

- **Inconvénients:**

- L'énergie consommée par ce système est couteuse.
- Utilisation d'une machine tournante entrainant des bruits et maintenance fréquente.
- Problème posés par certain frigorigène, polluants. **[7]**

I.9. Les fluides frigorigènes :

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

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

Par température ambiante, il faut comprendre l'ambiance ou le milieu a refroidir.

I.9.1. Critères de choix d'un fluide frigorigène :

a) Critères thermodynamiques :

Ces critères concernent principalement le constructeur de machines.

- La pression d'évaporation est nécessairement supérieure à la pression normale pour éviter les entrées d'air et d'humidité. La température d'ébullition doit se situer à une température de froid désirée, souvent négative.

- La température de condensation doit être inférieure à la température critique pour que le changement d'état soit possible.

- L'échauffement à la compression doit être réduit donc le coefficient aussi petit que possible.

- Production frigorifique volumétrique spécifique: c'est la quantité de chaleur absorbée par l'évaporateur rapporté à l'unité de volume de vapeur aspiré au niveau du compresseur: elle doit être aussi grande que possible. Cette valeur est liée à la LV.

- La condensation sera d'autant plus aisée que la chaleur massique de la vapeur saturante est faible.

b) Critères techniques des fluides frigorigènes :

- Etre de faible activité chimique à l'égard des métaux, alliages et joints du circuit, ainsi que les lubrifiants qui leur sont mélangés et de l'eau (de 0,5 à 3% dans tous les fluides). La présence d'eau pourrait former des acides ou des bases qui sont corrosifs.

- Avoir une bonne conductibilité thermique

c) Critères de sécurité :

- Bonne stabilité chimique, compte tenu de l'importance des écarts de température auxquels ils sont soumis à chaque cycle.

- Ininflammabilité et inexplosibilité en cas de mélange avec l'air.

- Sécurité alimentaire: en cas de fuite, inactivité sur les denrées, non nocif pour le personnel, facilement détectable.

- Non destructeur de la couche d'Ozone stratosphérique.

d) Critères économiques

- Prix: regain d'intérêt pour l'ammoniac (NH3) en IAA (pas de réaction avec l'ozone)

- Disponibilité: pour la recharge du circuit ou remplacement imposé par la législation.

I.9.2.Classification :

Les fluides frigorigènes obéissent à une classification qui permet une désignation précise de chaque fluide.

Cette classification est effectué sur la base de critères différents suivant la famille ou la sous famille de fluides considérés.

Les fluides frigorigènes sont divisées en deux grandes familles que sont :

- les composés inorganiques
- les composés organiques

➢ **Les composés inorganiques :**

Les fluides de cette famille sont ceux de la série 700.
Le fluide le plus utilisé de cette famille est l'ammoniac (NH3) et il est désigné par R717

R désigne Réfrigérant
Le 7 des centaines désigne la série 700
Le 17 représentant les deux derniers chiffres désigne la masse molaire du corps (14 pour l'azote « N » et 3 pour l'hydrogène « H »

Autres exemples de composés inorganiques :
l'eau (H20) : R718
le dioxyde de carbone (CO2) : R744

➢ **Les composés organiques :**

Les composés organiques sont des dérivés du méthane (CH4) et de l'éthane (C2H6).
Ils se divisent en trois sous familles :

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

- **Les corps purs :**

Les corps purs se regroupent en trois sous groupes suivant leur composition chimique :
les CFC (chlorofluorocarbone) – exemple le R12
les HCFC (hydrochlorofluorocarbone) – exemple le R22
les HFC (hydrofluorocarbone) – exemple le R134a
La caractéristique principale d'un corps pur est qu'il se condense et s'évapore à température et pression constante.

Les molécules des CFC sont complètement halogénées.

Ceux des HFC ne contiennent aucun atome de chlore.

Quant aux molécules des HCFC, ils contiennent du chlore non complètement halogéné; autrement dit certains atomes de chlore ont été remplacés par des atomes d'hydrogène.

Leur désignation est basée sur la règle suivante :
R : Réfrigérant
Chiffre des unités « u » : nombre d'atomes de fluor
Chiffre des dizaines « d » : nombre d'atomes d'hydrogène + 1
Chiffre des centaines « c » : nombre d'atomes de carbones – 1

La valence du carbone étant de 4, la molécule sera complétée par des atomes de chlore si nécessaire.

Les lettres minuscules en fin de numérotation désigne une asymétrie plus (b) ou moins (a) de la molécule. **[6]**

Le tableau I.1 est une illustration de la désignation des corps purs.

Désignation	**Chiffres des unités**	**Chiffres des dizaines**	**Chiffres des centaines**	**Nombre d'atomes de chlore**	**Formule chimique**
R12	2 2 fluor	1 0 hydrogène	0 1 carbone	2 chlore	CCl2F2
R22	2 2 fluor	2 1 hydrogène	0 1 carbone	1 chlore	CHClF2
R134a	2 2 fluor	3 2 hydrogène	1 2 carbone	0 chlore	CH2FCF3

Tableau I.1 : Exemples de désignation des corps purs R12 – R22 – R134a [6]

- **Les mélanges :**

Les mélanges de corps purs se regroupent en deux sous groupes que sont :
les mélanges azéotropiques qui se comportent comme des corps purs
les mélanges zéotropiques qui ne sont pas des corps purs
Les mélanges azéotropiques sont les fluides frigorigènes de la série 500.

Les deux derniers chiffres indiquent le numéro d'ordre d'apparition du fluide considéré.

Exemple : le R502 (mélange de 48.8% de R22 et de 51.2% de R115)
Les mélanges zéotropiques sont les fluides frigorigènes de la série 400.
Les deux derniers chiffres indiquent le numéro d'ordre d'apparition du fluide considéré.

Exemple : le R404A (mélange de 52% de R143a, de 44% de R125 et de 4% de R134a)
Dans le cas de mélanges de corps purs identiques mais dans des proportions différentes (isotopes), on associe une lettre majuscule (A,B,C) en fin de numérotation dans l'ordre chronologique d'apparition.

Exemple : R407A, R407B, R407C
R407A (mélange de 20% de R32, de 40% de R125 et de 40% de R134a)
R407B (mélange de 10% de R32, de 70% de R125 et de 20% de R134a)
R407C (mélange de 23% de R32, de 25% de R125 et de 52% de R134a)

Les mélanges zéotropiques se vaporisent et se condensent non pas à une température constante mais sur une plage de températures (glissement dans les zones de changement d'état).

- **Les hydrocarbures :**

Les fluides frigorigènes du type hydrocarbure proviennent essentiellement du raffinage du pétrole mais également du dégazolinage (récupération des hydrocarbures liquides) du gaz naturel.

Ce sont essentiellement le R600 (butane), le R600a (isobutane) et le R290 (propane) qui est le plus utilisé.

Contrairement aux autres fluides frigorigènes, les hydrocarbures sont hautement inflammables.

Dans certaines classifications, les fluides frigorigènes du type HC (hydrocarbures) sont regroupés avec les fluides de la série 700 comme le R717 (ammoniac), le R718 (eau) ou le R744 (dioxyde de carbone) sous la famille des fluides dits « naturels », les autres fluides étant regroupés dans la famille des fluides dits «de synthèse»

Nom	Formule chimique	T normale d'ébullition	T critique	GWP
CFC				
R11	CCl_3F	23.8	198	4000
R12	CCl_2F_2	-29.8	111.8	8500
R115	$CClF_2CF_3$	-39.1	79.9	9300
R502	R22/R115 (48,8/51,2)	-45.4	82.2	5590
HCFC				
R22	$CHClF_2$	-40.8	96.2	1700
R123	CHF_2CF_3	27.9	183.7	93
R141b	CH_3CCl_2F	32.2	204.4	630
R142b	CH_3CClF_2	-9.8	137.2	2000
HFC				
R32	CH_2F_2	-51.7	78.2	650
R125	CHF_2FCF_3	-48.1	66.3	2800
R134a	CH_2FCF3	-26.1	101.1	1300
R143a	CH_3CF_3	-47.2	73.6	3800
Mélanges de HFC				
R404A	R125/143a/134a (44/52/4)	-46.5	72.1	3260
R407C	R32/125/134a (23/25/52)	-43.6	87.3	1530
R410A	R32/125 (50/50)	-51.4	84.9	1730
Hydrocarbures				
R290 (propane)	$CH_3CH_2CH_3$	-42.1	96.8	<10
R600 (butane)	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	-0.5	152	<10
R600a (isobutane)	$CH(CH_3)_2{-}CH_3$	-11.8	135	<10
Composés inorganiques				
R717 (ammoniac)	NH_3	-33.3	133	<1
R744 (gaz carbonique)	CO_2	-78.4	31.1	1

Tableau I.2 : Caractéristiques des principaux fluides frigorigènes [6]

I.10. Froid et développement durable:

Les machines frigorifiques, toutes applications confondues, consomment à elles seules 15 % de l'énergie électrique totale disponible dans les pays industrialisés. Mais en plus, elles « consomment » des fluides frigorigènes, dont certains ne sont pas innocents vis-à-vis du climat de la planète. **[10]**

- **Action des frigorigènes:**

L'influence des fluides frigorigènes sur l'environnement s'exerce de deux manières :

- une action participative et destructive de la couche d'ozone, par les CFC (chlorofluorocarbures) et les HCFC (hydrochlorofluorocarbures), du fait de la présence de chlore dans leur molécule. Cette action (moindre pour les HCFC) est caractérisée par l'ODP (Ozone Depletion Potential). La production des CFC est interdite depuis 1998 ; il semblerait que ; depuis, le « trou d'ozone » se soit stabilisé ;

- un effet réverbératif des HCFC et HFC (hydrofluorocarbures), dénommé « effet de serre », caractérisé par le GWP (Global Warning Potential) qui contribue au réchauffement planétaire.

- **Action énergétique:**

Pratiquement toutes les machines frigorifiques à compression de vapeur utilisent de l'énergie électrique produite, pour l'essentiel, par des centrales consommant des énergies d'origines : fossile, hydraulique ou nucléaire. Suivant sa politique énergétique, chaque nation utilise des proportions plus ou moins importantes de ces ressources. La combustion des produits fossiles (gaz, houille, pétrole) pour produire de l'électricité, dégage des quantités plus ou moins importantes de CO_2.

- **Action globale TEWP:**

Cette action résulte de la somme de l'impact de la molécule, considérée comme GES (gaz à effet de serre), et celui de la consommation énergétique, étendue à la durée de vie de la machine, traduite en production de tonnes de CO_2. Elle est caractérisée par le TEWP (Total Equivalent Warming Potential), qui fait apparaître l'importance de la qualité du système en matière de confinement et d'utilisation optimale de l'énergie. Ce dernier facteur joue à la fois sur la qualité énergétique du système et sur le mode de production de l'énergie électrique (fossile, hydraulique, nucléaire ou autre). **[4]**

Conclusion :

Dans ce chapitre on a vue les principes de la thermodynamique avec une généralité sur les connaissances du froid.

Introduction :

La chambre froide alimentaire est une pièce équipée d'une installation frigorifique. Si la température de la chambre froide soit inférieure à zéro (chambre froide négative) si non positive mais proche de zéro (chambre froide positive). Elles servent à abaisser la température dans un espace clos pour conserver des produits. Le froid permet en effet de stopper la croissance bactérienne et ralentit les réactions chimiques indésirables pour augmenter la durée de vie des produits agroalimentaires.

II.1.Définition de chambre froide :

C'est un local spécialement équipé pour la conservation, c'est adire le stockage des différents produits à basse température pour une longue durée.

Les produits qui on peut stocker dans les chambres froides sont en général l'agroalimentaire comme boucheries charcuteries, supermarchés, fromageries, les dates, les agrumes, la viande, mais on peut aussi stocker d'autre produit différent comme le boit par exemple en Espagne une technique utilisée pour traiter le bois 48 heurs en chambre froide hermétique avec un taux d'humidité contrôlé assure une extermination des larves, œufs, et les insectes xylophages dans les meubles et objets d'art. **[6]**

II.2.Objectif d'utilisation de chambre froide :

Selon la définition du Petit Larousse c'est « un local spécialement équipé pour conserver les denrées périssables ».

Il est vrai que la majorité des chambres froides sont destinées à l'agro-alimentaire (supermarchés, boucheries charcuteries, fromageries...) mais il y a d'autres professionnels et particuliers, si on considère les chasseurs, qui se servent des chambres froides.

La chambre froide est une pièce équipée d'une installation frigorifique qui sert à conserver des végétaux (pour les fleuristes, par exemple), des produits secs, frais et surgelés.

On se sert également des chambres froides pour tester le vieillissement d'un produit pour chambres frigorifiques : le froid permet de stopper la croissance bactérienne et ralentit les réactions chimiques indésirables des produits.

Évite aux nourritures de s'abîmer car chaque produit à une température bien déterminé pour le stocker dans les conditions normales voir ce tableau pour bien comprendre.

Réguler L'humidité parce qu'à un rôle très important dans le facteur de poids de quelques produits comme la viande.

Chambre froide poisson	2 à 4 °C
Chambre froide viande	2 à 4 °C
Chambre froide fruits et légumes	4 à 6°C
Chambre froide pâtisserie	2 à 4 °C
Chambre froide de jour	2 à 4 °C
Congélateur	- 20 à - 30 °C
Cave à vin conditionnée	10 à 12 °C/HR 75%
Local de stockage des déchets 10 °C	10 °C
Local de tranchage	10 °C

II.3.Les catégories de chambres froides :

On distingue quatre catégories de chambre froide

- **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.

- **Les chambres froides préfabriquées indémontables :**

Les parois de ce type de chambre froide sont fabriquées en usine et le montage définitif se fait sur chantier à laide de cadres métalliques et un système spécial de fixation.

- **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 elles finie par un joint isolant l'avantage de ce type la possibilité de déplacer la chambre froide en autre place facilement.

- **Les Chambres Froides mobile gonflable :**

Une nouveauté dans le domaine de la conservation de produits frais.
Celle-ci ce monte en 10 minutes et atteint une température intérieure de 3°C en 45 minutes seulement.
Vous pouvez monter et démonter cette chambre froide autant de fois que vous le désirez.

Elle apporte des solutions pratiques et professionnelles aux nécessités de conservation et de stockage pour hôtels, restaurants, entreprises de cat ring, commerces et cuisines industrie. **[6]**

II.4.Les types de chambre froide :

On trouve deux types classés selon la température :

II.4.1.La chambre froide positive :

Lorsque on veut stocker des denrées alimentaires, laquelle la température de conservation est inférieure à dix degrés Celsius 10, on utilise une chambre froide positive.



Figure II.1: La chambre froide positive

- **La catégorie des chambres froides positives :**

Dans les chambres froides à froid positif, il règne une température située au dessus de 0°C. Bien que la température de référence pour ce type de chambre froide soit de 3°C, elle peut néanmoins varier en fonction de la nature des aliments qui y sont stockés. À noter qu'on y observe généralement une température d'évaporation de -5°C.

Ce type de chambre froide est particulièrement adapté aux fruits et aux légumes de quatrième gamme, c'est à dire des aliments prêts à l'emploi nécessitant une réfrigération (et non une congélation) : une douceur fraîche (entre 0 et 4°C) et une forte humidité (entre 85 et 95%) sont conseillées si on souhaite conserver toutes les qualités gustatives et nutritionnelles de ces aliments (frais, croquants, riches en vitamine). C'est le réfrigérant R134A qui est généralement constaté dans ce type de chambre froide.

II.4.2.La Chambre froide négative :

Et lorsque on veut stocker des produits dont la température de conservation est supérieure à dix-huit degré Celsius on utilise une chambre négative.



Figure II.2: La chambre froide négative

- **La catégorie des chambres froides négatives :**

À l'instar des congélateurs domestiques, les chambres froides à froid négatif présente une température inférieure à 0°C. Elle est statuée à -18°C mais la chambre froide peut être configurée pour des températures encore plus froides. La température d'évaporation généralement observée n'y dépasse pas les -30°C. Le froid négatif entraîne la solidification de l'eau contenue dans les aliments et la formation de cristaux de glace ne détériorant pas les cellules de l'aliment. Ce type de chambre froide convient donc idéalement aux aliments nécessitant une congélation pour une plus longue durée de conservation. À -18°C, on observe une conservation d'au moins un an pour la plupart des fruits, légumes, viandes et volailles, et d'au moins six mois pour la plupart des produits de la mer et les produits laitiers. Dans ces chambres froides à froid négatif, on y trouve généralement le réfrigérant R404A. **[3]**

II.5.La construction d'une Chambre froide :

Le compresseur frigorifique aspire le fluide réfrigérant dans l'évaporateur. Le détendeur (minuscule trou calibré) freine l'introduction du liquide dans l'évaporateur.
Comme la pompe aspire beaucoup, elle a tendance à faire le vide dans l'évaporateur. De ce fait, la pression intérieure est très faible. On oblige ainsi le liquide à s'évaporer.

Or le liquide a besoin de beaucoup de chaleur pour s'évaporer et se transformer en "gaz". Il va prendre cette chaleur dans les tuyaux et les ailettes de l'évaporateur ce qui va les refroidir intensément.

Dans la chambre froide, un ventilateur brasse l'air intérieur à travers l'évaporateur. Cet air est refroidit au contact des tubes et des ailettes de l'évaporateur. L'air perd sa chaleur.
Cette chaleur sert à évaporer le liquide qui se trouve à l'intérieur de l'évaporateur.

La chaleur intérieure de la chambre froide part de cette façon dans les tuyaux sous forme de vapeur (appelé gaz) vers le compresseur. Ce compresseur, placé à l'extérieur de la chambre froide, aspire ce gaz et le comprime fortement.

Sous l'effet de cette compression, le gaz passe de -20°C côté aspiration du compresseur à +50°C côté refoulement du compresseur. On oblige ensuite le gaz devenu chaud à se condenser en le refroidissant grâce au condenseur placé à l'extérieur de la chambre (le condenseur est ce radiateur avec des tubes, des ailettes et un gros ventilateur).

En passant de l'état vapeur à l'état liquide à l'intérieur des tuyaux du condenseur, le gaz va rejeter la chaleur qu'il a pris à l'intérieur de la chambre froide. Cette chaleur est évacuée par le ventilateur du condenseur qui réchauffe l'air extérieur.
Cette chaleur rejetée à l'extérieur est la même que celle extraite à l'intérieur de la chambre froide.

II.6.Le rôle d'une chambre froide :

Indispensable pour stocker et conserver des denrées périssables en grande quantité et à basse température, la chambre froide est une étape primordiale puisqu'elle constitue le dernier maillon de la chaîne du froid avant l'achat du produit par le consommateur.
Contrairement à une idée reçue, la chambre froide n'a pas pour mission de refroidir les denrées mais d'en maintenir la température, puisqu'en général, la congélation a déjà eu lieu au moment de la production. La chambre froide joue donc d'abord un rôle de transport (camion frigorifique) puis de stockage et d'exposition afin de maintenir les meilleures conditions de conservation (avec par exemple le meuble frigorifique d'un magasin). Par ailleurs, on distingue deux catégories de chambre froide : celle à "froid positif" et celle à "froid négatif".

II.7.D’autres utilisations de la chambre froide :

Bien qu'elle serve généralement à stocker des aliments, la chambre froide peut également avoir d'autres utilisations. Elle peut par exemple faciliter l'entretien des objets d'art : il s'agit d'une méthode de traitement mise en place en Espagne. En effet, un séjour de 48 heures en chambre froide assure une totale extermination des insectes xylophages (ceux là même qui se nourrissent de bois). Cette méthode se veut écologique car aucun produit chimique ou toxique n'est utilisé. Ainsi les objets traités (meubles, objets d'art, livres) voient leur durée de vie considérablement allongée.
La chambre froide se révèle enfin indispensable au pharmacien hospitalier : ce dernier doit veiller au respect de la chaîne de froid dès lors qu'il s'agit de détenir et de stocker des médicaments réfrigérés (notamment pour des essais cliniques) dans des conditions de conservation parfaitement idéales.

II.8.Le dégivrage et la régulation :

II.8.1.Généralité :

Lorsque, dans les évaporateurs refroidisseurs d'air, la température de la batterie est inférieure à 0°C, du givre se dépose sur les tubes.

Le givre réduit l'intensité des échanges thermiques et le brassage de l'air. Aussi, est-il nécessaire de procéder régulièrement au dégivrage de la batterie (évaporateur, gaine, égouttoir...).

Les problèmes essentiels du dégivrage sont:

- le choix du mode de chauffage
- la réduction des pertes de chaleur
- la détermination de la fréquence.

II.8.2.Conditions:

Une opération de dégivrage se décompose en trois périodes:

- période de réchauffement durant laquelle la batterie et le givre sont réchauffés à une température égale à 0°C.

- Période de fusion durant laquelle, en plus de la chaleur nécessaire à l'élimination du givre, il faut tenir compte de la chaleur nécessaire au séchage de la batterie.

- Période de refroidissement durant laquelle la batterie dégivrée est refroidie jusqu'à la température de consigne du local.

En général, on considère que la durée du dégivrage ne correspond qu'aux deux premières périodes. Il est plus exact de définir la durée du dégivrage comme le temps compris entre le début du processus de dégivrage et le premier arrêt automatique du système frigorifique.

La quantité de chaleur mise en jeu par la fusion du givre est une fraction du bilan global d'une opération de dégivrage. L'efficacité du dégivrage, peut-être exprimée par le rapport de ces deux quantités de chaleur.

Il est d'autant plus élevée que:

- la masse de givre à évacuer est importante,
- la durée du dégivrage est brève,
- les pertes sont petites.

II.8.3.Commande du dégivrage:

La commande automatique des opérations de dégivrage d'un évaporateur comprend trois dispositifs; le premier provoque le dégivrage, le deuxième détermine la séquence du dégivrage, le troisième commande la fin du dégivrage.

II.8.4.Début:

Une opération de dégivrage peut-être provoquée soit quand s'est formée une certaine épaisseur de givre, soit à intervalles de temps réguliers et prédéterminés.

Dans le premier cas l'épaisseur de givre peut-être appréciée par un détecteur d'épaisseur.

Dans le deuxième cas les opérations de dégivrage sont déclenchées au moyen d'une horloge (plusieurs fois par jour). Celle-ci arrête la production de froid et déclenche la séquence de dégivrage.

II.8.5.Séquence:

Un système automatique des opérations de dégivrage comporte, selon le mode de chauffage adopté, tout ou partie des opérations suivantes:

- vidage de l'évaporateur; arrêt, si nécessaire, du compresseur; arrêt des ventilateurs,
- mise en service du dispositif de chauffage de la batterie et de l'égouttoir,
- mise-en froid de la batterie pour la prise en glace des gouttelettes d'eau.

II.8.6.Arrêt:

La fin du dégivrage peut-être commandée:

- Par un thermostat d'élément (fin de dégivrage) qui détermine l'élévation de la température de la batterie à une valeur supérieure à 0°C.
- Par un pressostat basse-pression qui déclenche quand la pression devient suffisamment élevée.
- Par l'horloge; dans ce cas la durée du dégivrage est prédéterminée. Ce dispositif présent l'inconvénient d'être aléatoire si la durée est excessive, la dépense énergétique est inutilement accrue, si la durée est trop courte l'évaporateur est mal dégivré.

Aussi, est-il indispensable, quel que soit le système de commande adopté, de surveiller attentivement et régulièrement les conditions pratiques dans lesquelles s'opèrent le dégivrage des évaporateurs. **[12]**

II.8.7.Différents modes de dégivrage des chambres froides positives:

Lorsque la température d'évaporation descend en dessous de zéro degré, du givre se forme sur l'évaporateur. Le dégivrage est assuré à l'arrêt du groupe, par la ventilation forcée de l'évaporateur dans un milieu ambiant à température positive.

A chaque cycle:

Dans ce cas la régulation (thermostatique ou presso statique) commande le groupe. La ventilation de l'évaporateur fonctionne en marche forcée.

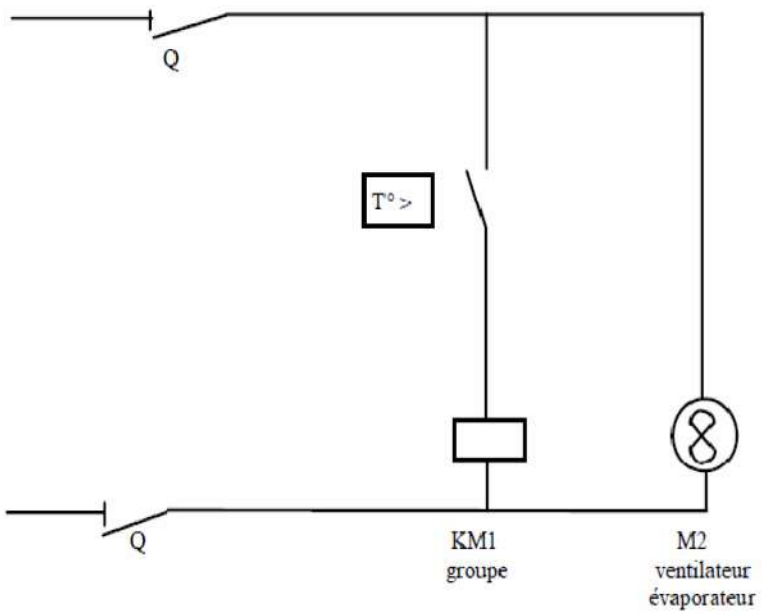


Figure II.3: schéma d'un thermostat de régulation

Cette ventilation permanente dessèche les produits non emballés entreposés.

II.8.8.Les dégivrages automatiques:

Ils seront tous commandés par pendule (interrupteur horaire)

- **Pendule de dégivrage:**

Alimentée en monophasé 220V puis mise à l'heure, elle doit être programmée pour plusieurs (quatre en général) dégivrages journalier aux heures creuses d'utilisation de la chambre froide.

Son rôle est de déclencher à heures fixes sur le circuit de commande:

- l'arrêt de la congélation
- alimentation du circuit de dégivrage
-

En fin de séquence (après dégivrage complet de l'évaporateur) la pendule commande la remise en congélation.

- **Dégivrage par résistances chauffantes électriques:**

Des résistances en forme d'épingle traversent de part en part l'évaporateur parallèlement aux tubes. Le givre et la glace se détachent et finissent de fondre dans l'égouttoir également chauffé par résistances. Une canalisation maintenue hors gel jusqu'à l'extérieur de la chambre par un cordon chauffant évacue l'eau de dégivrage.

II.9.Sécurités de fin de dégivrage:

La fin du dégivrage est assurée par:

- L'horloge.
- L'horloge et un thermostat de contrôle de fin de dégivrage.

Dans tous les cas un thermostat de sécurité dont le bulbe est voisin du thermostat de fin de dégivrage peut être utilisé. Monté en série avec le relais de dégivrage son contact s'ouvre à +24°C et se referme à +4°C.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a vue le concept de la production du froid avec une explication de différents types de chambre froide et leur mode de fonctionnement, et on a fait une Démontrassions du dégivrage.

Introduction :

L'utilisation du froid pour la conservation des aliments périssables est sans conteste la technique la plus répandue. Les basses températures permettent de conserver un produit pendant un temps plus ou moins long et pouvant être consommé avec sécurité tout en gardant son aspect, sa couleur, ses qualités gustatives, nutritives et hygiéniques. Le froid retarde le développement des microorganismes, la majorité des germes ne sont plus capables d'activité métabolique à des températures inférieures à 5°C tel que les coliformes Il est le procédé presque parfait de la conservation des produits alimentaires, et le meilleur connu actuellement.

III.1.La chaine de froid :

Cette expression est utilisée pour désigner les différents maillons imbriqués les uns aux autres qui permettent le maintien à la température optimum des denrées alimentaires depuis leur production jusqu'à leur consommation.

Les conditions de respect de cette « chaîne du froid » ont une influence primordiale sur la qualité des aliments distribués et la protection des consommateurs.

La chaîne du froid peut être divisée suivant les maillons suivants :

- réfrigération (ou congélation) au niveau de la production
- réfrigération (ou stockage en produits congelés) au niveau de l'entreposage
- transports sous températures dirigées en fonction de la nature des produits transportés (réfrigérés ou congelés)
- le froid au stade de la distribution (vitrines réfrigérées ou congelées)
- le froid chez le consommateur (réfrigérateur ménager)

Les conditions fondamentales d'obtention d'un produit de qualité sont :

- utilisation d'un produit sain
- application du froid aussitôt que possible
- maintien de l'action du froid de manière constante et dans des conditions adéquates jusqu'à l'utilisation du produit

Ces conditions sont imagées par ce qui est appelé le « trépied frigorifique ». **[6]**

III.2.Les techniques de conservation par le froid :

Les techniques de conservation par abaissement de la température des produits et des aliments permet de prolonger leurs durées de vie, et suivant les températures l'activité cellulaire et la prolifération des micro-organismes sont soit ralenties, soit stoppées.

Le froid permet de conserver des aliments suivant les températures de quelques jours à plusieurs mois, tout en gardant leurs propriétés gustatives et nutritives.

Néanmoins, soustraire de la chaleur est un procédé gourmand en énergie, le froid industriel représente pour la France près de 7 % de la consommation totale d'énergie électrique. **[1]**

III.2.1.Trois techniques de conservation :

III.2.1.1.La réfrigération :

En maintenant des aliments à une température proche ou supérieure à 0°C ont réduit considérablement l'évolution microbienne et les métabolismes biochimiques.

La conservation des denrées et aliments périssables dans une enceinte où la température et l'hygrométrie sont constantes est alors possible à court et moyen terme. Les aliments mis en conservation doivent être sains, par exemple pour les fruits et légumes la réfrigération doit être faite le plus rapidement possible après la collecte.

- **Avantages de la réfrigération :**

- Elle freiné le phénomène vitaux des tissus vivants
- Les tissus morts en ralentissant les métabolismes biochimiques
- Elle ralentit considérablement l'évolution microbienne et les conséquences, celle-ci (Putréfaction, toxines, etc…).

III.2.1.2.La congélation :

La congélation est le procédé qui consiste à abaisser la température d'une denrée à un niveau tel que la majeure partie de son eau de constitution soit transformée en cristaux de glace plus ou moins gros .Les température conservation des denrées congelées sont comprises entre -18 et -25°C :la durée de conservation est fonction de la congélation fait l'objet d'une réglementation très précise.

- **Avantages de la congélation :**

- Elle arrête la majorité des réaction enzymatique
- De plus ,elle stoppe le développement et l'action de la plupart des micro-organisme à 18°C

III.2.1.3.La surgélation (congélation rapide) :

La surgélation ou la congélation rapide consiste a exposer des produits à un froid intense de -30°C à -40°C pendant un temps déterminé, cette pratique permet de garder la structure cellulaire originelle des produits et de bloquer l'activité microbienne.
Ici contrairement à une congélation simple la proportion d'eau non congelée contenue dans le produit est très faible, les produits surgelés sont ensuite conservés à -18°C. **[6]**

- **Procédé de congélation :**

Les procédés de congélations rapides font appel aux principaux suivants :

Tunnel de congélation : ce procédé qui consiste à disposer la durée dans un courant d'air maintenu aux environ de – 30°C à – 40°C et a une vitesse l'ordre de 3 m/s.

Congélation par fluide cryogène : on peut procéder à la congélation des denrées en les disposent dans un flux d'azote évapore a partir d'azote liquide l'évaporation de l'azote liquide se produit à 195°C, cette technique qui est efficace

- **La durée de congélation par un fluide cryogénique :**

Elle dépend de facteur nombreux et très valable, entre autre la chaleur massique et la chaleur latente de congélation des denrées leur forme, leur texture, leur dimension, leur coefficient de transmission superficiel du produit leur disposition dans le congélateur, la température à laquelle elles sont soumises, le procédé utilise, etc.

La formule suivante donne la durée de congélation par un fluide cryogénique :

$$t = \frac{\Delta h \times \rho}{\Delta \theta} \times \frac{1}{N} \times D\left(\frac{4D}{\lambda} + \frac{1}{\alpha}\right)$$

Dans cette formule

Δh **:** est la quantité de chaleur à extraire de produit entre la température commençante et la température finale en (j/Kg)

ρ **:** La masse volumique en Kg/m^3

$\Delta\theta$ **:** l'écart de température entre la température de congélation et celle de medium de refroidissement en (°C) et en (K)

D : l'épaisseur a pièce congèle en (m)

λ **:** le coefficient de conductivité thermique du produit en (W/m.K)

α **:** le coefficient superficiel d'échange entre le medium et la surface du produit (tenant compte de l'emballage s'il y en a).

N *:* un coefficient qui dépend de la forme de la pièce à congeler (N=2 pour une plaque, 4 pour un cylindre, 6 pour une sphère).

t **:** est exprimé en (second).

La valeur **(α)** dépond des conditions dans lesquelles le produit sera congèle, dans l'air, sans emballage on peut admettre
α ≠2 3 (W/ m² K) dans le cas de congélation par contact, par immersion ou part lait fluidise, α atteint environ 230N/m² K.

Celle de (λ) dépond de la nature de produit à congeler.

III.3.Règles d'application du froid :

Les trois règles a respecter dans l'application du froid pour le traitement des produits de consommation ont été précisées dès 1928 par ALEXANDRE MONVOISIN. Elles sont basés sur :

- La réfrigération appliquée à un produit sain (viande sans souillure).
- Une réfrigération précoce (aussitôt après l'abattage).
- Une réfrigération continue, donc une chaîne de froid ininterrompue**.**

III.4.Intérêts et contraintes les produits de la mer :

- **Un marché à l'exportation vers l'Europe important :**

L'Europe constitue le premier marché mondial pour les produits de la mer. La demande est particulièrement importante pour les poissons en filet à chair blanche et ferme (soles, dorades, mérous).

- **Une technologie difficile et des investissements lourds :**

La maîtrise des techniques de congélation demande des compétences techniques. Les investissements sont importants aussi bien pour l'aménagement et la construction des locaux que pour l'acquisition de matériels et la formation du personnel.

- **Un produit de longue conservation :**

Les poissons congelés peuvent se conserver plusieurs mois s'ils sont maintenus dans des conditions de froid (-18°C) et s'il n'y a pas de rupture de la chaîne du froid.

- **Un impératif : la mise en place d'une démarche qualité**

Pour que les produits soient de bonne qualité, il faut adopter une démarche qualité et respecter des règles strictes d'hygiène des locaux et des matériels mais aussi du personnel. Les produits finis devront ainsi répondre à des normes exigées par les pays importateurs en termes de qualité marchande et sanitaire. **[1]**

III.5.Applications du froid dans filière agroalimentaire(Poissons) :

La dégradation de la qualité alimentaire des poissons et, plus largement, des produits de la mer (crustacés et coquillages) est causée par une activité bactérienne et enzymatique.
La conservation des produits dans la glace dans des chambres froides à la température de -1^{o}C permet de s'opposer momentanément à la multiplication des bactéries mais ne permet pas de l'éliminer totalement. Bien enrobé dans la glace, il est possible de conserver au poisson sa fraîcheur initiale jusqu'à 7 jours dans des conditions normales.

La conservation de longue durée du poisson ne peut se faire valablement que par congélation rapide : le poisson surgelé à des températures de – 25^{o}C à – 40^{o}C présente des qualités organoleptiques identiques à celles du poisson frais lorsque le processus de congélation rapide a lieu à bord, immédiatement après la pêche. **[5]**

III.6.Conservation de quelques denrées :

- **Viande :**

La température de conservation de la viande varie de 0°C à 4°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.

- **Poisson :**

La qualité de la viande de poisson se dégrade dès sa capture, celle-ci se conserve sur un lit de glace 1°C. Le poisson se conserve aux alentours d'une semaine entre 0°C et 3°C, au-delà il doit être mis en surgélation à -25°C. En ce qui concerne les coquillages vivants leur conservation se situe entre 6°C et 15°C, une fois cuits ils peuvent être congelés.

- **Fruits :**

La conservation des fruits en chambre froide permet un entreposage prolongé, allant de trois à quatre mois. Les fruits une fois cueillis continuait d'absorber de l'oxygène et à dégager de l'anhydride carbonique, donc les chambres froides doivent être en mesure de contrôler non seulement la température, mais la teneur anhydride carbonique. La température de conservation et les fruits se situent de moins 0°C à +15°C avec une hygrométrie comprise entre 80% 90 %.
En ce qui concerne la conservation des produits congelés, la température se situe entre -20°C à 25°C.

- **Les légumes :**

La température de conservation des légumes varie 0°C à + 10°C avec une teneur en humidité relative de 70 à 90 %. La plupart des légumes peuvent être congelés, mais par exemple les pommes de terre, les artichauts, les aubergines, la laitue ne sont pas des aliments à congeler tels quels, ils doivent avoir été cuisinés au préalable. **[13]**

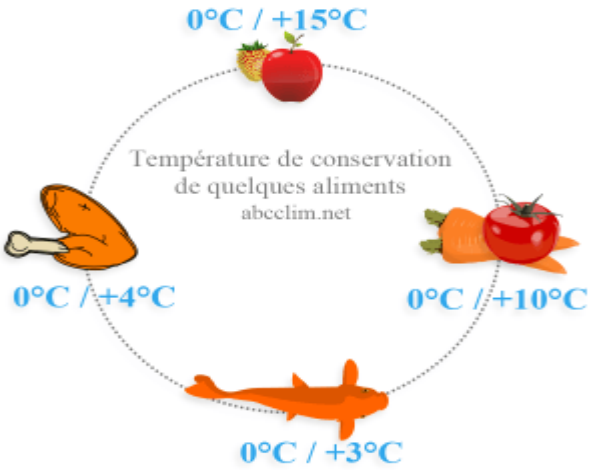


Figure III.1: Température de conservation de quelques aliments [13]

III.7.Composition de poissons et viandes:

Selon l'organisation mondiale de la santé animale, la viande désigne toutes les parties comestibles d'un animal et considère le mot « animal », dans ce contexte « tout mammifère ou oiseau». Dans ce vocabulaire sont inclues la chaire des mammifères (Ovin, bovin, caprin, camelin …) et des oiseaux (poulet, dinde, pintade …). Mais la qualité de la viande est fonction de l'âge, du sexe, et de la race de l'animal.

Les viandes se caractérisent par une grande hétérogénéité, elles sont principalement Constituées de muscles stries squelettiques qui comportent aussi d'autres tissus en quantité très variable selon les espèces, les races, les âges, les régimes alimentaires et la région anatomique concernée. Ce sont surtout les tissus conjonctifs, adipeux parfois les os et la peau. Les viandes sont aussi classées selon la couleur en : Viandes rouges et viandes blanches et selon la richesse en graisse en: Viandes maigres et viandes plus ou moins riches en graisse. Les poissons représentent un apport en protéines d'aussi bonne qualité que la viande. Il contient en outre une quantité plus importante de substances azotées non protéiques (ammoniaque, urée…) qui lui donnent une odeur caractéristique. Le poisson contient en moyenne 20 % de protéines. Les huîtres et les moules 7 à 10 %. **[5]**

III.8.Catégories de poisson congelé :

Les poissons congelés sont divisés en 1ère et 2ème catégorie, à l'exception des petits, qui ne sont pas divisés en catégorie.

- **Les poissons de 1ère catégorie (catégorie A)** et les petits poissons standardisés doivent avoir une surface propre, une coloration naturelle, sans dommages externes; la préparation doit être correcte, la consistance et l'odeur après la décongélation doit correspondre à ce type de poisson, sans signes de dégradations.

- **Les poissons de 2ème catégorie (catégorie B)** autorisent une décoloration de la surface et un jaunissement de la peau, des dommages mécaniques de la peau, des signes de stade initiale de la « tenue gestative », déviations de la découpe, et après la décongélation une texture de chair affaiblie, mais pas molle, une odeur aigre dans les branchies.

Il existe plusieurs façons de congeler le poisson: froid naturel, mélanges glace-sel ou solutions salines réfrigérées, congélateurs ou dispositifs utilisant le froid artificiel. Congélation du poisson en vrac, individuellement ou en blocs.

- **Congélation dans les mélanges glace-sel :**

Cette méthode est basée sur le phénomène d'auto-refroidissement. Pour faire fondre la glace et dissoudre le sel, il faut de la chaleur qui est absorbée par l'environnement extérieur. Pour obtenir un mélange glace-sel avec une température d'environ 20°C, il est nécessaire d'avoir au minimum 25 % de sel par rapport à la masse de glace et – 100 -125% de glace par rapport à la masse de poisson. La glace, le sel et le poisson sont disposés en couches. Actuellement cette méthode n'est pas très appliquée, car le poisson est déformé et salé jusqu'à une épaisseur de 2 à 3 cm ; le goût salé apparaît et la surface du poisson est ternie.

- **Congélation dans la saumure refroidie et dans les mélanges glace-sel :**

On distinguer la congélation de contact (en contact avec le fluide de refroidissement) et hors contact (dans des conteneurs métalliques hermétiques). Dans la congélation de contact le poisson touche la saumure, dans ce cas la surface du poisson est salée et ternie. Lors de la congélation hors contact, le poisson est placé dans des containers métalliques hermétiques et on obtient un produit de meilleure qualité

La congélation en chambres froides — est une façon courante de congélation, alors qu'il est presque impossible d'obtenir une congélation rapide du poisson. Même si la température initiale de la chambre froide est à -25°C, alors qu'au chargement du poisson, la température augmente de façon spectaculaire. Pour la congélation le poisson est posé sur des étagères et les plus grands sont suspendus sur des crochets. La durée de congélation est 4 à 5 jours. Les petits poissons (perche, ruff, éperlan, hareng de la Baltique, etc.) sont congelés en vrac ou en couche de 10 à 15 cm dans des boîtes ou des paniers.

- **Congélation du poisson dans les dispositifs de congélation rapide :**

Il s'agit de la meilleure façon de congeler le poisson. Dans ce cas, le poisson (filet) est déposé dans des plateaux ou des blocs-formes en acier inoxydable. Après la mise à niveau du poisson dans les plateaux, les plateaux sont pris en pince entre des dalles, dans lesquelles circule un réfrigérant avec une température de-30°C. La température à l'intérieur du bloc de poisson durant 3 à 4 heures atteint-18°C. Lorsque vous ouvrez les blocs-formes une pression se crée qui soulève le bloc de poisson de parois intérieures des formes.

La congélation à l'azote liquide est la méthode la plus efficace pour la congélation des poissons. Le point d'ébullition de l'azote est de -195.6°C la durée du processus est de 10 à 15 min ; le produit congelé est de haute qualité.

Pour ralentir les processus de rétrécissement et d'oxydation des graisses au cours du stockage du poisson congelé, immédiatement après la congélation on recouvre d'une couche mince de glace de (2 à 3 mm) par immersion répétée dans l'eau froide ou on emballe sous vide dans des sachets en film synthétique. **[12]**

III.9.Apports nutritionnels caractérisant les viandes et poisson de groupe :

- Protéines
- Minéraux : fer (viande, iode (poisson)
- Vitamines : groupe B ; A (foie)
- Pas de calcium et pratiquement pas de vitamine C
- Apports potentiels en lipides
- Apport en cholestérol

III.10.La congélation des poissons frais et cuisinés :

La plupart des poissons peut être conservée au congélateur. Toutefois, l'idéal est de congeler des poissons fraîchement pêchés. Ensuite, il faudra les préparer et les mettre directement au congélateur. En effet, il n'est pas conseillé de laisser reposer les poissons trop longtemps avant de les congeler car ils pourrissent très vite. Les poissons devront être conditionnés dans des sacs de congélation.

III.10.1.La congélation des poissons :

Les poissons font partie des aliments facilement périssables. Ainsi, pour optimiser leur conservation, il existe certaines règles à respecter, notamment en ce qui concerne la qualité et la fraîcheur du poisson à congeler.

III.10.2.La qualité du poisson à congeler :

Si on souhaite congeler des poissons entiers, il est possible de vérifier leur fraîcheur avant de les acheter car la fraîcheur des poissons est un critère important pour la réussite de la congélation. Ainsi, un poisson est dit frais s'il a :

- une chair ferme,
- une peau brillante avec des écailles intactes et bien collées à la peau,
- des yeux brillants,
- une odeur peu prononcée.

Pour les poissons en tranches (darnes, filets, morceaux, etc.), vérifier que la chair est bien humide, élastique et ne dégage pas une forte odeur avant de les acheter.

III.10.3.La préparation du poisson à la congélation

Pour congeler un poisson entier, il est indispensable de bien le vider après l'avoir écaillé car les substances contenues dans les viscères risquent d'abîmer la chair du poisson, même à très basse température. Il faut ensuite couper la tête, enlever les branchies puis bien le rincer à l'eau froide. Pour les gros poissons, supérieurs à 2 kg, il est préférable de les découper en morceaux.

III.10.4.Les techniques de congélation

Pour la congélation des poissons entiers, plusieurs options sont possibles, mais la plus simple est de les déposer sur une plaque pour ensuite les introduire au congélateur. Une fois que les poissons sont congelés, on retire ensuite les tranches du réfrigérateur pour les transférer dans des sacs de congélation hermétiques en évitant de mélanger les espèces. Veiller à chasser le maximum d'air des sacs en aspirant avec la bouche avant de les refermer. Pour les poissons en tranches, il est conseillé d'enlever la peau puis de les placer directement dans des boîtes hermétiques ou dans des sacs de congélation.

III.10.5.Les recettes de poisson congelables

Les plats cuisinés à base de poisson peuvent aussi être congelés. Il importe seulement d'opter pour le contenant le plus adapté (sac de congélation, boîte en plastique, bocal en verre, etc.). Parmi ces recette, on peut citer le parmentière de poisson avec de la purée de pomme de terre, le pâté de poisson, le ragoût de poisson, la terrine de poisson ou encore le fumet de poisson, qui doit être congelé par portion individuelle. **[5]**

III.11.Méthodes de conservation par congélation :

Lorsqu'on abaisse la température d'une denrée au-dessous de 0°C, l'eau gèle dans une proportion d'autant plus grande que la température est basse (ce qui paraît évident !). Aux alentours de 0°C, 30 à 40 % d'eau "congelable" s'est transformée en glace alors que pour des températures nettement plus basse (-18 à - 20°C), plus de 95 % de cette eau est gelée, représentant de l'ordre de 85 % de la quantité totale de l'eau présente dans la substance.

Cette congélation de l'eau entraîne la "stabilisation" de la denrée. Cette méthode de conservation est couramment appelée "froid alimentaire négatif".

Pour garantir la conservation des propriétés organoleptiques et de la structure physique de la substance, l'idéal est d'effectuer une congélation rapide à la production et de maintenir la chaîne de froid à la température de congélation requise (- 20°C) le plus longtemps possible.

La congélation des aliments est une technique très efficace à la prolongation de la durée de leur commercialisation. Cette durée dépend essentiellement :

- de la température;
- de la denrée;
- du type d'emballage.

Les tableaux ci-dessous reprend les durées de conservation de différentes denrées pour différentes températures de congélation :

 **Produit de Mer**	**Durée pratique de conservation [mois]**		
	-12°C	**-18°C**	**-24°C**
Poisson gras	3	5	>9
Poisson maigre	4	6	>12
Homard (pans leur carapace, cuit)	4	6	>12
Crabe (dans leur carapace, cuites)	4	6	>12
Crevettes (dans leur carapace, cuites)	2	5	>12
Crevettes (décortiquées, cuites)	2	5	>9
Cabillaud	4	6	>9
Hareng	3	5	>9

Tableau. III.1: les durées de conservation par différentes température de Congélation [13]

 **Viandes et volailles**	**Durée pratique de conservation [mois]**		
	-12°C	**-18°C**	**-24°C**
Bœuf (carcasse non emballée)	8	15	>24
Bœuf (morceaux, steaks)	6	10	15
bœuf hache	6	10	15
Veau (carcasse non emballée)	6	12	15
Veau ‘découpe)	6	12	15
Agneau (carcasse non emballée)	18	24	>24
Agneau (découpé)	12	18	24
Porc (carcasse non emballée)	6	10	15
Porc (découpé)	9	10	15
Lard-maigre-bacon (tranche sous vide)	12	12	12
Poulet entier	9	18	>24
Dinde entière	8	15	>24
Canard, oie (entiers)	6	12	>18
Foie	4	12	18

Tableau III.2: les durées de conservation pour différentes températures de congélations [13]

III.12.Vitesse de congélation et décongélation :

Il est toujours préférable d’effectuer la congélation des produits de manière rapide. Un produit congelé lentement peut faire apparaître lors de son réchauffage une exsudation excessive qui traduit une mauvaise réabsorption de l’eau et entraîne une certaine perte de substances alimentaires. Cela s’explique par le fait que l’eau s’est congelée sous forme de gros cristaux qui ont détruit la structure des tissus, au contraire en congélation rapide, les cristaux de glace sont de petites tailles et leur effet sur la structure cellulaire et l’exsudation est fortement réduit. Un produit décongelé et recongelé perd beaucoup en qualité et la maintien de la température de conservation à basse température est primordiale. **[5]**

La décongélation, comme la congélation, est une phase critique pour les produits congelés.

Il est préférable que la décongélation soit conduite le plus rapidement chaque fois que cela est possible, en effet une décongélation lente s'accompagne souvent d'une exsudation plus importante.

Il faut néanmoins noter que le risque pour un aliment congelé de porter des germes dangereux est accru lorsqu'il est placé dans l'ambiance (température ambiante).

Il convient de maintenir le produit congelé au dessous des températures dangereuses (au dessous de +5°C), la décongélation de lots de carca sses par exemple peut prendre plusieurs jours (jusqu'à 5). Une autre méthode consiste à atteindre rapidement la zone de pasteurisation dont le seuil est de +65°C.

En pratique, le mode de décongélation lente en chambre froide ou dans un réfrigérateur (utilisation domestique) est très utilisée, la température dans la chambre froide ou dans le réfrigérateur étant maintenue autour de +4°C.

Pour les produits consommés à l'état, ils peuvent être placés à l'état congelé directement dans l'appareil de cuisson (eau bouillante pour les légumes, four, poêle pour les produits animaux..). Il existe bien d'autres techniques de décongélation (à l'eau courante surtout en utilisation domestique et des tunnels de décongélation en industrie).

Les fours à micro-ondes sont très utilisés de nos jours pour le réchauffage des plats cuisinés.

III.13.La durée de conservation et la décongélation du poisson

La durée de conservation dépend de l'espèce de poisson et du congélateur dont on dispose. En règle générale, les poissons gras peuvent être congelés pendant 2 mois à -18°C et jusqu'à 4 mois à -25°C. On peut aller jusqu'à 3 mois à -18°C et à 6 mois à -25°C pour les poissons maigres.

➢ La décongélation :

Pour tous les aliments en général et les poissons en particulier, la décongélation ne doit se faire qu'au moment de la consommation. Il est fortement déconseillé de décongeler les poissons à l'eau chaude ou à la température ambiante car cela risque d'abîmer la chair. La manière la plus indiquée pour décongeler les poissons est de les placer au réfrigérateur durant 15 heures au minimum pour 500 g de chair. Autrement, il suffit de placer les poissons dans de l'eau froide pendant 30 minutes ou une heure au maximum, selon les variétés de poissons, pour 500 g de chair. Dans tous les cas, il faut laisser les poissons dans leur sac de congélation quelle que soit la méthode de décongélation choisie. Les poissons congelés correctement peuvent servir à la préparation de nombreuses recettes pour ne citer que le poisson à la sauce tomate épicée ou les poissons en papillote aux pommes de terre. **[12]**

III.14.Facteurs d'altération :

Parmi les facteurs d'altération des produits conserves par réfrigération il y a :

III.14.1.Teneur en eau libre de la viande et poisson :

L'eau libre est une eau non liée à des sels (Na Cl) ou a des molécules (glucides). Cette eau Peut être éliminée de l'aliment par évaporation. Elle favorise la croissance bactérienne. Les bactéries pathogènes se développent a des activités d'eau comprises entre 0.9 et 1, celle des levures se situe entre 0.87 et 0.9.

III.14.2.Humidité de l'air :

Selon l'humidité des chambres froides, deux types d'altérations sont susceptibles d'apparaitre Sur les denrées conservées par réfrigération. Une atmosphère sèche ralentie la prolifération
microbienne, on assiste à une putréfaction lente due essentiellement aux moisissures de surface (Aspergillus, Cladosporium, Penicillium…) et des levures **(**Candida, Torula….). Les hautes teneurs en eau de l'atmosphère, favorisent la croissance bactérienne.
Il s'agit essentiellement des germes tels que : *Pseudomonas, Acinetobacter, Alcaligenes*, entérobactéries …, formant a la surface de la viande un enduit muqueux résultant de la Juxtaposition des cellules microbiennes.

III.14.3.Teneur en oxygène :

Les microorganismes aérobies se développent en présence d'oxygène, alors que ceux Strictement anaérobies prolifèrent en absence d'oxygène.

III.14.4.Température d'entreposage :

La température idéale pour le développement des microorganismes se situe entre 7 et 55°C. Mais pour chaque groupe de bactéries il y a des températures spécifiques comme l'indique-le tableau suivant :

Groupe	Température minimale	Température optimal	Température maximal
Psychrophile	-15 °C	15 à 20°C	25 °C
Psychotropes	0 à 5°C	25 à 35 °C	37°C
Mésophiles	10 à 20 °C	37°C	45°C
Thermophiles	25 à 45°C	50 à 90°C	65 à 90 °C

Tableau III.3: Bactéries et température de croissance

III.14.5.Degré d'acidité :

Le pH optimum de croissance bactérienne (pathogènes) est neutre, proche de 7; les bactéries se développent rarement à des pH acides sauf les bactéries acidophiles ou à des pH alcalins sauf les bactéries basophiles. L'espèce vibriocholerae se multiplie à pH=9, *E coli* se développe dans une fourchette plus large (4.4 à 9).

III.15.Influence de la microflore psychrophile et psychotrope sur la viande et poisson réfrigérées :

La réfrigération empêche la multiplication de nombreux germes mais pas celle des germes psychrophiles, capables de croître à basses températures (3°C et 5°C) tel que les *Pseudomonas* et les Achromobacters. Les germes psychrophiles se développent à 0°C en une ou deux semaines. Les psychotropes sont capables de s'adapter et de se développer aux températures proches de 0°C. **[12]**

III.16.Influence des conditions de conservation et de décongélation du poisson congelé sur ses qualités nutritionnelles et organoleptiques :

III.16.1.Evolution de la qualité hygiénique (micro-organismes parasites) :

Il y a pratiquement arrêt complet de tout développement microbien en dessous de - 10°C, bien que quelques rares levures et moisissures peuvent encore se multiplier très lentement entre - 10 et - 18°C. D'autre part, la congélation provoque la mort de certains germes, ce qui est évidemment salutaire. Mais cette destruction est toujours très limitée, si bien que cette technique ne peut en aucun cas être considérée comme un procédé de stérilisation ou d'assainissement microbien, et la manipulation des poissons congelés nécessite le respect rigoureux des règles d'hygiène. On peut estimer que 10 à 80% des germes résistent au processus de congélation.

III.16.2.Evolution de la qualité nutritionnelle :

La qualité nutritionnelle des produits congelés rapidement est généralement excellente car les pertes de nutriments (vitamines, éléments minéraux, acides aminés et acides gras essentiels, etc…) au cours de la congélation, la conservation et la décongélation, sont minimes. Toutefois, à la conservation à - 18°C, certaines pertes vitaminiques de faible ampleur peuvent être constatées après plusieurs mois de conservation.

L'opération de décongélation peut s'accompagner d'une exsudation de liquide ayant pour conséquence des pertes non négligeables de vitamines et de sels minéraux.

Ces variations de qualités nutritionnelles de poissons sont étroitement liées à la nature des techniques mises en oeuvre et lorsque les conditions de congélation, de conservation et de décongélation sont bien maîtrisées, les pertes de nutriments sont très faibles.

III.16.3.Evolution des qualités organoleptiques et pertes d'eau :

Les poissons congelés rapidement peuvent être conservés plusieurs mois sans modification sensible de leurs qualités organoleptiques. Mais au-delà d'une certaine période dénommée “durée pratique de conservation” (qui est de 3 mois au Projet de Développement de la pêche au lac Kivu), certaines altérations apparaissent. Elles sont dûes à des réactions chimiques et enzymatiques qui, quoi que très ralenties, persistent à -18°C. Par ailleurs, les poissons congelés perdent de l'eau au cours de la congélation et de la conservation. Ceci s'accompagne d'une diminution de poids et éventuellement d'une oxydation et se traduit par des dénaturations locales, des tâches claires appelées “brûlures de congélation” qui peuvent apparaître et donner un aspect peu engageant au produit.
Mais lorsque certaines précautions telles que l'utilisation d'emballages étanches appliqués étroitement sur le produit et la mise en œuvre de procédés de décongélation appropriés sont respectés, les pertes de masse et les altérations en découlant sont très faibles ou inexistantes. Aussi, les qualités microbiologiques nutritionnelles et organoleptiques des poissons rapidement congelés sont comparables à celles des produits frais quand les techniques de préparation sont bien maîtrisées. **[12]**

III.16.4.Influence des conditions de décongélation :

La décongélation des poissons congelés avant consommation doit s'effectuer par cuisson ou remontée rapide de température afin d'éviter une multiplication des micro-organismes.
Par ailleurs, décongeler des poissons en dehors des endroits frais est une opération dangereuse. En effet, le maintien de poissons décongelés pendant plusieurs heures à des températures supérieures à 10°C peut permettre la multiplication de certains germes (salmonella, clostridium perfringers …) ou la production de toxines (staphylocoques etc.…). Il est donc interdit de recongeler le poisson décongelé car la multiplication de certains germes est très rapide avant la recongélation. **[13]**

III.17. Recommandations :

Vérifiez régulièrement la température ambiante de l’équipement de conservation des aliments en utilisant un thermomètre fiable calibré par une firme spécialisée.
Tenez un registre quotidien des relevés de température et prévoyez des mesures à prendre en cas de non-conformité.

Évitez la zone de danger située entre 4 et 60 °C.
Dans cet intervalle de température, la multiplication des bactéries dans les aliments potentiellement dangereux s’accroît. Le temps de préparation de ces aliments à une température supérieure à 4 °C doit être le plus court possible : ne sortez que les quantités nécessaires pour le temps de leur préparation ou du service. **[13]**

Conclusion :

En général nous avons constate que l'utilisation de chambre froide est très important dans la zone d'alimentation avec plusieurs types de refroidissement (réfrigération congélation et même surgélation) et que sont nécessaires pour maintenir la suivie des matériaux utilisable.

Introduction :

Dans ce chapitre, on va faire une étude sur la chambre froide, cette étude est basée sur le bilan frigorifique de la chambre froide.

IV. 1. Description de notre chambre froide :

C'est une chambre frigorifique de congélation du poisson :

La chambre	Longueur (m)	Largeur(m)	Hauteur(m)
Conservation du poisson	18	18	06

Tableau VI-1 : Les dimensions de la chambre froide

T_i (K°)	λ(w/m°k).10^{-3}	V (m^2/s).10^{-6}	ρ(kg/m^3)	Cp (Kj/Kg°k)
277.15	24.68	14.61	1.382	1005

Tableau VI-2 : Les conditions opératoires de la chambre froide.

IV. 1.1.Représentation de la chambre froide :

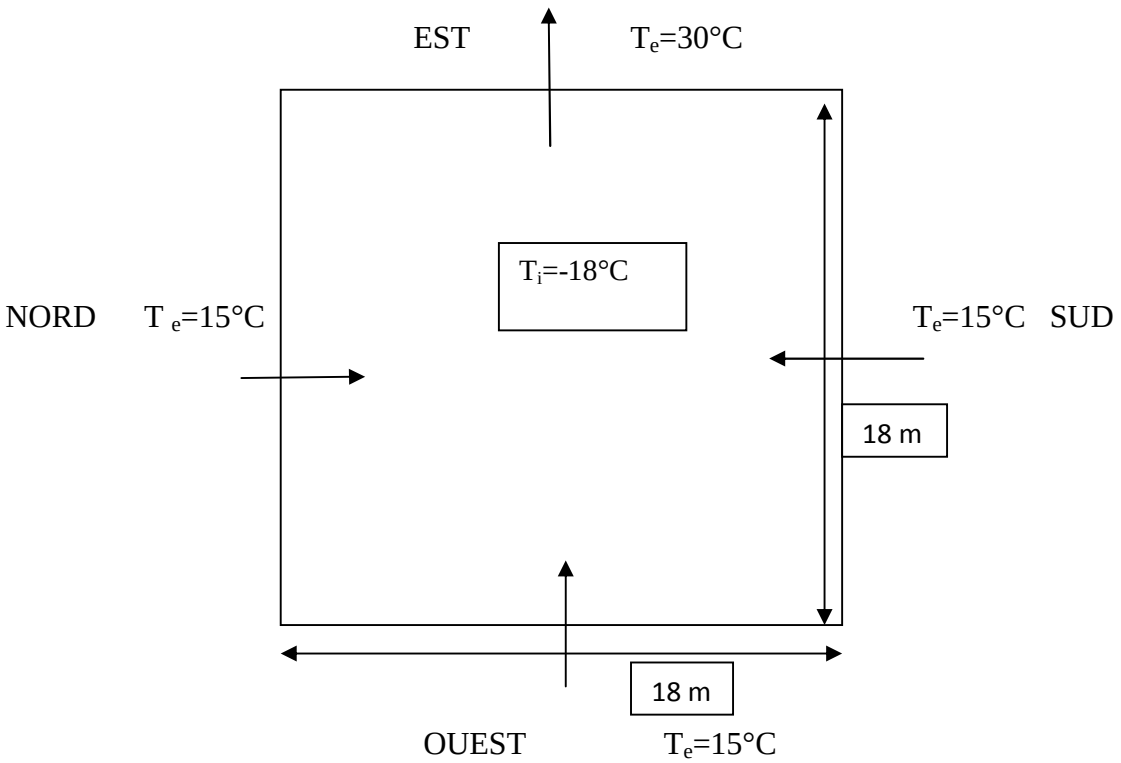


Figure IV. 1: Représentation de la chambre froide.

IV. 1. 2.Détermination des coefficients d'échange superficiels et étude de l'isolation thermique :

IV.1. 2.1. Détermination des coefficients d'échanges superficiels :

Le transfert thermiques à pour l'objet d'étudier la manière dont s'effectue cet échange d'énergie (chauffage central, production de vapeur, isolation des bâtiments,…)

IV. 1. 2.1.1.Différents modes de transfert de chaleur :

On distingue trois mécanismes d'échanges de chaleur entre milieux matériels :

IV.I.2.1.1.1.Convection : c'est une transmission de chaleur dans la masse d'un milieu matériel.les zones chaudes cédant de la chaleur à celles qui sont moins, c'est le cas lorsqu'on chauffe l'extrémité d'une barre.

$$\Phi = S\,(\lambda/e)\,\Delta t \ [W] \qquad \text{……..(IV.1)}$$

- **S :** Surface **[m²]**
- **Λ :** Coefficient de conductivité thermique **[W/m°K]**
- **e** : Epaisseur de matériau **[m]**

IV.1.2.1.1.2.Rayonnement : c'est une transmission d'énergie à distance, entre deux corps sépares ou non par un milieu matériel (transmission d'énergie thermique d'un émetteur en énergie électronique, propagation, transformation partielle en énergie thermique sur un Corp.)

$$\Phi = \sigma\,\varepsilon\,t^4 \ [W] \qquad \text{…….....(IV.2)}$$

IV. 1.2.1.1.3.Convection : c'est le phénomène observé entre un fluide en mouvement et une paroi, phénomène principale dans les plupart des échangeurs de chaleur.

$$\Phi = \alpha_c\,A\,(t_1 - t_2) \ [W] \qquad \text{…….....(IV.3)}$$

- **A :** Surface **[m²].**
- **α_c :** Coefficient de transfert de chaleur par convection **[W/m²K].**

IV. 1. 2.1.1.4.Equation de transfert de chaleur :

$$\Phi = k\,S\,\Delta t \ [W] \qquad \text{…….....(IV.4)}$$

$$\Delta T = (t_e - t_i) \qquad \text{…….....(IV.5)}$$

- **K :** coefficient thermique global de transmission de la paroi considéré en [W/m²K].
- **S :** Surface de la paroi considérée **[m²].**
- **ΔT :** Différence de la température des deux cotés de la paroi considérée **[°K].**

$$\frac{1}{k} = \sum \frac{e}{\lambda} + \left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}\right)$$

- $\sum R_i$: la somme des résistances thermiques des différences couches de matériaux constituants la paroi en [m^2.k/w].chaque couche de matériaux est caractérisée par son épaisseur (e) en (mètre) et par son coefficient de conductivité thermique λ en [w/m.k].

Dans laquelle h_i et h_e sont les coefficients globeux de convection sur les murs les valeurs de α_i et α_e [w/m²°c] sont données dans le tableau suivant :

	Parois en contact avec l'extérieur			**Paroi en contact avec un autre local, un comble ou un vide sanitaire**			**Parois vitrées**
	murs	***plafonds***	***planchers***	***Murs***	***Plafonds***	***Planchers***	
α_e	16.7	20	20	9	20	9	16.7
α_i	9	11.1	5.9	9	20	5.9	9

Tableau VI -3: les valeurs de coefficients globeux de convection sur les murs.

IV.1. 2.1.2.Méthode de calcul des coefficients d'échange superficiel :

Les calculs suivant permettant l'évaluation de α_e et α_i **:**

IV .1. 2.1.2.1.Coefficients intérieures :

$$\alpha_i = \alpha_{ic} + \alpha_{ir} \quad \text{.....(IV.6)}$$

- α_{ic} **:** coefficient d'échange superficiel par convection.
- α_{ir} **:** coefficient d'échange superficiel par rayonnement.

IV. 1. 2.1.2.1.1. Calcule de coefficient d'échange par convection (α_{ic}) :

$$\alpha_{ic} = \alpha_{icl} + \alpha_{icf} \quad \text{.....(IV.7)}$$

- α_{icl} **:** coefficient d'échange superficiel par convection libre.
- α_{icf} **:** coefficient d'échange superficiel par convection forcée.

IV.1.2.1.2.1.2.Convection libre (α_{icl}) : est déterminé à base du nombre de **NUSSELT « N_u »** donné par la formule :

$$N_u = \alpha_{icl} \times L / \lambda = C\,(G_r \times P_r)^a \quad \text{.....(IV.8)}$$

- **α_{icl} :** constants données par le régime d'écoulement.
- **P_r :** Nombre de **BRANDT** tiré du tableau thermodynamique.
- **λ :** Coefficient de conductivité de l'air **t_m** en **[kcal/hm°c].**
- **μ :** Viscosité dynamique de l'air **[kg/ms].**

$$P_r = (\mu \times Cp)/\lambda$$

$$\mu = \nu \times \rho$$

- **G_r :** Nombre de **GRASHOFF,** caractérisé l'écoulement libre.
- **g :** Accélération gravitationnelle .**g=9.87[m/s^2].**
- **L :** Dimension caractéristique de la paroi.
- Paroi horizontale : (longueur+largeur)/2
- Paroi vertical : L=hauteur.
- **β :** Coefficient de dilatation.

$$G_r = g\, L^3 \beta\, \Delta t/\, \nu^2$$

$$\beta = 1/(t_m + 273.15)\ [k]$$

- **t_m :** température moyenne à laquelle sera déterminé toute les propriétés.
- **ν:** Viscosité cinématique de l'air à **t_m [m²/s].**
- **$\Delta t = t_{pi} - t_i$**
- **t_{pi}** température de la paroi **[°c].**
- **t_i :** température intérieure **[°c].**

Le produit **($P_r \times G_r$)** permet de distinguer le régime d'écoulement et les valeurs des constants **C** et **a** comme le présente dans le tableau au- dessous :

Configuration		$P_r \times G_r$	Régime d'écoulement	Longueur caractéristique (m)	C	a
Paroi vertical		10^4 à 10^9	Laminaire	L= h h : hauteur	0.59	0.25
		10^9 à 10^{12}	Turbulent		0.13	1/3
Paroi horizontal	à flux descendant	10^5 à 2×10^7	Laminaire	L= (lar+lon)/2 lon : longueur lar : largeur	0.54	0.25
		2×10^7 à 3×10^{12}	Turbulent		0.14	1/3
	à flux ascendant	10^5 à 3×10^{12}	Laminaire		0.27	0.25

Tableau VI-4: Détermination de régime d'écoulement et les valeurs des constants C et a .

IV.1. 2.1.2.1.3.Convection forcée (α_{icf}) :

$$N_u = \alpha_{icl} \times L/\lambda = a\,(R_e)^m (P_r)^n \qquad \text{.....(IV.9)}$$

- **a,m,n** : Constantes déterminées en fonction du régime d'écoulement .
- **R_e :** Nombre de RAYNOLDS caractérise l'écoulement forcé : **$R_e = \omega.L/\nu$**

Pour les parois horizontales :

- Si $\mathbf{R_e > 4.10^5}$ → régime turbulent → a= 0.036, m=0.8, n=1/3.
- Si $\mathbf{R_e < 4.10^5}$ → régime laminaire → a=0.664, m=0.5, n=1/3.

Pour les parois verticales :

- Si $\mathbf{R_e > 4.10^5}$ → régime turbulent → a= 0.664, m=0.5, n=1/3.
- Si $\mathbf{R_e < 4.10^5}$ → régime laminaire → a=0.036 , m=0.8, n=1/3.
- **ω:** vitesse de l'air en **[m/s]**
- ✓ Dans notre cas la vitesse de l'air extérieur **ω=7m/s**
- ✓ A l'intérieur de notre chambre on prend **ω= (2.5)m/s.**

IV. 1. 2.1.2.1.4.Calcule du coefficient d'échange par rayonnement :

La loi de STEPHAN-BOLTZMAN nous permet d'écrire :

$$\mathbf{q_r = \alpha_{ir} \times \Delta t} \qquad \mathbf{\alpha_{ir} = q_r / \Delta t}$$

- **Δt :** L'écart de température entre la paroi et le fluide convecteur.
- **q_r :** Flux de chaleur unitaire échangé par rayonnement **[kcal/hm²**
- **C_{12} :** Coefficient de rayonnement entre l'air et la paroi :

$$\mathbf{1/C_{12} = [(1/A_p) - (S_p/S_r)((1/A_0)-1)]1/C_0} \qquad \textbf{…….(IV.10)}$$

$$\mathbf{C_{12} = A_p \times C_0 \ [kcal/hm^2\ °K^4]} \qquad \textbf{…….(IV.11)}$$

- **C_0 :** Coefficient d'émission du corps noir : **C0=4.96 [kcal/hm² °K²].**
- **A_p :** Coefficient d'absorption de la tôle d'acier : **A_p=0.9.**
- **S_p :** Surface de la paroi.
- **S_r :** Surface entourant de la paroi.
- **A_0 :** Coefficient d'absorption du corps noir **A_0=1.**

IV. 1.2.1.2.2.Coefficients extérieurs :

Le calcul se fait de la même manière que pour le coefficient intérieur, sauf que les coefficients des parois horizontales.

IV. 1.2.1.2.2.1.Propriétés physique de l'air :

Température (°C)	Température (°k)	Masse volumique $\rho(kg/m^3)$	Conductivité thermique λ $(w/m°k).10^{-3}$	Chaleur Spécifique C_p (kj/kg°k)	Viscosité cinématique $(m^2/s).10^{-6}$
-18	255.15	1.382	23	1.009	12.54

Tableau VI -5.: les caractéristiques physique de l'air.

On donne les coefficients superficiels de la chambre froide dans les trois tableaux suivants :v<

Convection libre :

	Intérieur -18C						Extérieur 15 °C				
Les parois	**01**	**02**	**03**	**04**	**Plafond**	**planche**	**01**	**02**	**03**	**04**	**plafond**
Orientation	**N**	**E**	**O**	**S**			**N**	**E**	**O**	**S**	
$G_r\ 10^{10}$	4.53	4.57	4.53	4.53	36.18	120	3.5	3.5	3.5	3.5	27.9
P_r	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
$P_r\ G_r\ 10^{10}$	3.2	3.21	3.2	3.2	25.5	86.6	2.47	2.47	2.47	2.47	19.7
Régime	**Turbulent**						**Turbulent**				
N_u	413.12	413.12	413.12	413.12	887	260.46	425.20	425.20	425.20	425.20	813.9
α_{cl}	2.73	2.73	2.73	2.73	6.69	6.69	1.6	1.6	1.6	1.6	3.37

Convection forcée :

	Intérieur -18°C						Extérieur 15 °C				
Les parois	**01**	**02**	**03**	**04**	**plafond**	**planche**	**01**	**02**	**03**	**04**	**plafond**
Orientation	**N**	**E**	**O**	**S**			**N**	**E**	**O**	**S**	
R_e	11×10^5	11×10^5	11×10^5	11×10^5	33×10^5	3×10^5	4.1×10^5	4.1×10^5	4.1×10^5	4.1×10^5	12.3×10^5
α_{cf}	2.37	2.37	2.37	2.37	6.69	6.69	1.6	1.6	1.6	1.6	3.37
N_u	618.34	618.34	618.34	618.34	5241.79	5241.79	377.5	377.5	377.5	377.5	2380.08dsfq
Régime	**Turbulent**						**Turbulent**				

On conclure que :

Intérieur -18°C							Extérieur 15 °C				
α_c	3.95	3.95	3.95	3.95	5.48	9.13	3.41	3.41	3.41	3.41	4.52
α_r	3.10	3.02	3.10	3.10	3.08	2.66	3.06	3.06	3.06	3.06	13.38
A_{tot}	7.05	7.05	7.05	7.05	8.56	11.79	6.46	6.46	6.46	6.46	14.9

Tableau VI-6 : les coefficients superficiels de la chambre froide.

IV .1 .3.L'isolation thermique :

IV .1 .3.1.Pourquoi isolé :

L'isolation empêche la chaleur de partir en suivant les chemins quelle connait. C'est évident en hiver. En été, elle empêche la chaleur extérieur d'envahir a l'intérieur, en suivant les mêmes chemins en sens inverse.la barrière que l'on mettra sur ces chemins, c'est l'isolation.

IV. I .3.2.Isolants :

Avant toute chose, en matière de froid, il est indispensable d'aborder l'isolation thermique.

Une chambre froide ne sera jamais performante s'elle est installée dans une chambre non isolée. Les matériaux d'isolations sont conçus essentiellement pour réaliser des enveloppes de protection thermique des enceintes froides afin de réduire le flux de chaleur vers ces enceinte et d'y maintenir la température et l'humidité convenables.

IV. 1.3.2.1.Les épaisseurs des isolants :

L'épaisseur de l'isolation représente un compromis entre :

- Les déperditions admises ;
- Les investissements qu'il faut consentir, en particulier ceux concernant l'isolant.

Désignation	S (m^2)	Δt(° C)	α_i (w/m^2° C)	α_e (w/m^2° C)	q (w/m^2)	e_{is} (m)	e_{is} réel (mm)	K (w/m^2° C)	Q (w)
Mur 01	108	33	7.05	6.46	6	0.12	130	0.17	605.88
Mur 01	104	12	7.05	6.46	6	0.12	130	0.17	583.44
Mur 01	108	33	7.05	6.46	6	0.12	130	0.17	605.88
Mur 01	104	11	7.05	6.46	6	0.12	130	0.17	194.48
plancher	324	55	11.79	-	6	0.067	400	0.058	1033.56
plafond	324	33	8.56	14.9	6	0.12	130	0.17	1817.64
porte	8	33	7.05	6.46	6	0.121	130	0.17	44.88

TableauVI-7 : les épaisseurs d'isolants et les coefficients de transmission thermique de la chambre froide.

IV.2. Le bilan frigorifique :

Les charges thermiques se répartissent en deux grandes catégories :les charges externes et les charges internes.

- La catégorie des charges thermiques externes comprend :
  - Les charges thermiques par transmission à travers les parois.
  - Charges thermiques par renouvellement d'air.
  - Charges thermiques par ouverture de portes.
- La catégorie des charges thermiques internes se subdivise elle-même en deux sous-catégories :
  - ✓ La sous-catégorie des charges dépendantes des produits entreposés et du ou des évaporateurs ; à savoir :
    - Les charges dues aux produits entrants.
    - Les charges dues à la respiration des produits entreposés.
    - Les charges dues à la chaleur dégagée par le moteur à 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.
  - ✓ la sous catégorie des charges indépendantes des produits entreposés et l'installation frigorifique et qui comprend :
    - les charges dues à l'éclairage.
    - Les charges dues au personnel.
    - Les charges dues aux chariots élévateurs et transpalettes.
    - Les charges dues à la présence éventuelles autres machines.

IV. 2.1.Les charges thermiques externes :

IV. 2.1.1.Charge thermique par transmission à travers les parois (Q_{tr}) :

On procédé à ce calcul paroi par paroi, c'est-à-dire d'abord les quatre parois verticales puis le plancher haut (toiture) et enfin le plancher bas.

$$Q_{tr}=k.S.\Delta t \quad [W] \qquad \text{.....(IV.12)}$$

- **k:** Coefficient de transmission thermique de la parois considérée en **[W/m².K].**
- **S :** Surface de la paroi considérée en **[m²].**
- **Δt :** Différence de la température entre les deux cotés de la paroi considérée en **[°K].**

IV.2.1.2.Charge thermique par renouvellement d'air (Q_{re}) :

Dans des nombreuses chambres froides, il est prévu de renouveler plus ou moins l'air ambiant, c'est-à-dire de remplacer une partie de l'air de la chambre froide par de l'air exterieur.la quantité d'air neuf admise doit être refroidie de la température extérieure à la température de la chambre froide et constitue une charge thermique.

$$Q_{re}=m_{a,e}.\ \Delta h \quad [kW] \qquad \text{.....(IV.13)}$$

- $m_{a,e}$ **:** Débit d'air extérieur à renouveler admis en **[kg/s].**
- **Δh :** Différence d'enthalpie entre l'air extérieur et l'air ambiant de la chambre froide en **[kJ/Kg].**
- $h_{a,e}$ **:**Enthalpie de l'air.

$$\Delta h= h_{a,e} - h_{a,a} \quad [kJ/Kg] \qquad \text{.....(IV.14)}$$

- $h_{a,a}$ **:** Enthalpie de l'air intérieur en **[kJ/Kg].**

✓ Par ailleurs on a :

$$m_{a,e}=V_{a,e}\ \rho_{a,a}/86400 \quad [Kg/s] \qquad \text{.....(IV.15)}$$

- $V_{a,e}$ **:** Débit volumique de l'air extérieur en **[m^3/jour].**
- $\rho_{a,a}$ **:** Masse volumique de l'air de la chambre en **[Kg/m^3].**

$$\rho_{a,a}= \rho_0/1+(t/273.15)\ [Kg/m^3] \qquad \text{.....(IV.16)}$$

- ρ_0 **:** Masse volumique de l'air égale à **1.0293 [Kg/m^3].**
- **t :** Température de la chambre froide en **[°C].**

Enfin pour le débit volumique d'air extérieur, on a :

$$V_{a,e}=V_{cf}.n\ [m^3/jour] \qquad \text{.....(IV.17)}$$

- V_{cf} **:** volume de la chambre froide en **[m^3].**
- **n :** Taux de renouvellement de l'air journalier donné par **:**

$$n= 70/\sqrt{V_{cf}}\ [d^{-1}] \qquad \text{.....(IV.18)}$$

IV.2.1.3.Charge thermique due à l'ouverture de portes (Q_{op}) :

$$Q_{op}=[8.0+(0.067\times \Delta T_p)]\times \tau_p\times \rho_{a,a}\times L_p h_p \times\sqrt{}\ h_p(1-(\rho_{a,e}/\rho_{a,a})\times (h_{a,e}-h_{a,a}).c_{ra} \quad [Kw]$$

- τ_p **:** Temps d'ouverture des portes en **[min/heure].**
- $\rho_{a,a}$ **:** Masse volumique de l'air ambiant dans la chambre froide**[Kg/m^3].**
- L_p **:** longueur de la porte en **[m].**
- h_p **:** hauteur de la porte en **[m].**
- $\rho_{a,e}$ **:** Masse volumique de l'air du coté de la porte autre que la chambre froide en **[Kg/m^3].**
- $h_{a,e}$ **:**Enthalpie de l'air du coté de la porte autre que la chambre froide en **[kJ/Kg].**
- $h_{a,a}$ **:** Enthalpie de l'air ambiant dans la chambre froide en **[kJ/Kg].**
- c_{ra} **:** Coefficient de minoration due à la présence éventuelle d'un rideau d'air .dans le cas d'une porte sans rideau, on prend c_{ra} prise égale **à 1.**

Le temps moyen d'ouverture des portes d'une chambre froide se calcule :

$$\tau_p=d_t\times f_j/24\ [min/h] \quad \text{.....(IV.19)}$$

- d_t **:** durée moyenne d'ouverture des portes pour permettre le passage des médicaments en (min/heure).pour notre cas on utilise des portes manuelle**.** d_t**=6(min/Kg).**
- f_j **:** le flux journalier de poisson en **[Kg/jour]**

IV.2.2.les charges internes :

IV.2.2.1.charges thermiques internes indépendantes des denrées entreposées :

IV. 2.2.1.1. charges thermiques dues à l'éclairage(Q_{ec}) :

$$Q_{ec}=P.S.\tau_d\ [kw] \quad \text{.....(IV.20)}$$

- **S :** la surface de plancher. **S=324m²**
- **P :** on opte une charge thermique unitaire. **P= 6 kw**

IV.2.2.1.2.charges dues aux personnes(Q_{pe}) :

$$Q_{pe}=n.q_p.\tau/24\ [kw] \quad \text{.....(IV.21)}$$

n : Nombre de personne opérant dans la chambre de froide

n=3 : pour les chambres de congélation (notre cas)

- **q_p :** Quantité de chaleur dégagée par unité de temps et par personne, elle dépend de la nature d'activité en **[w].**
- **τ :** Durée de présence de chaque personne dans la chambre froide **(heure/jour).**

T(°C)	10	5	0	-5	-15	-20	-30	-35
Q_p(w)	211	242	275	305	370	407	447	506

Tableau VI-8 : la quantité de chaleur en fonction de la température.

IV.2.2.1.3.Charges thermiques dues au matériel roulant(Q_{mr}) :

C'est matériel roulant est le plus souvent constitué de chariots élévateurs et transpalette.

$$Q_{mr}=n\times P\times \tau / 24 \text{ [Kw]} \quad \text{.....(IV.22)}$$

- **n :** Nombre de matériels roulant d'un type donné.
- **P :** Puissance totale de chaque type de matériel roulant en **[w].**
- **τ :** Durée de fonctionnement du matériel roulant pris en compte en **[h/Dj].**

IV.2.2.1.4.Charges thermiques dues à des machines diverses(Q_{md}) :

Ces machines peuvent être très diversifiées **:** étuves, cutters, hachoirs. On a :

$$Q_{md}=n\times P\times \tau / 24 \text{ [Kw]} \quad \text{.....(IV.23)}$$

- **n :** Nombre de machines d'un type donné.
- **P :** Puissance de chaque machine en**[w].**
- **τ:** Durée de fonctionnement de chaque type de machine compte en **[h/Dj]**

IV .2.2.2.Charges thermiques internes dépendantes des produits entreposées :

IV.2.2.2.1.Charges thermiques dues aux produits entrants :

Cette charge résulte de ce que les produits introduits dans une chambre froide se trouvent à une température supérieure à la température de la chambre froide et qu'ils dégagent donc une certaine quantité de chaleur aussi longtemps que leur température n'atteint pas la température d'entreposage.

- Dans notre cas (congélation):

$$Q_{de}=\frac{m\times c1\times(t1-t2)+m\times L+m\times c2\times(t2-tf)}{86400} \quad \text{.....(IV.24)}$$

- **m :** Masse de produits introduites chaque jour en **[Kg/jour].**
- **C_1 :** Capacité thermique massique avant la conservation (réfrigération) du produit à entreposer en **[Kj/Kg.K].**

- **C_2** : capacité thermique massique après la congélation du produit à entreposer en **[Kj/Kg.K].**
- **t_1 :** Température initiale du produit introduite en **[°C].**
- **t_2 :** Température de la conservation des produits dans la chambre froide en **[°C].**
- **L :** chaleur latente de congélation de la denrée, L=274**[Kj/Kg].**
- **T_f** : température prévue au cœur de produit ou de stockage en **[°C].**
- **C_1 =**3.1 à 3.18 [Kj/Kg].
- **C_2** = 1.67 à 1.76[Kj/Kg].

IV.2.2.2.2.Charges thermiques due à la respiration des produits (Q_{resp}) :

Les produits végétaux entreposés dégagent de la chaleur du fait de leur respiration ; de même que les fromages du fait de leur fermentation. En présence de tels produits ; il faut donc tenir compte également de la charge correspondante qui a pour valeur :

compte également de la charge correspondante qui a pour valeur :

$$Q_{resp}= (m.q_{resp})/86400 \quad [Kw] \qquad \text{…….....(IV.25)}$$

- **m :** chaleur de marchandises en **[Kg].**
- **q_{resp} :** Chaleur de respiration de marchandise en **[Kj/Kg].**

IV.2.2.2.3.Charges thermiques dues aux moteurs des ventilateurs de batteries :

$$Q_{vent}=(n\times P\times \tau)/24 \quad [Kw] \qquad \text{…….....(IV.26)}$$

- **n :** Nombre de ventilateurs.
- **P :** La puissance de ventilateur en **[w], P=1000 w.**
- **τ :** Le temps de fonctionnement de l'installation en **[h/Dj].**

IV.2.2.2.4.Charge thermique due aux résistances dégivrage ($Q_{dég}$) :

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

$$Q_{dég}=(n\times P\times \tau)/24 \quad [Kw] \qquad \text{…….....(IV.27)}$$

- **n :** nombre de résistances électriques.
- **P :** La puissance calorifique de chaque résistance **[w].**
- **τ:** est le temps de fonctionnement de l'installation en **[h /Dj].**

IV.2.3.Charges thermiques incalculables :

Ces charges sont obtenues en majorant le résultat total de 10 jusqu'à 20% .donc on aura :

$$Q_{Inc.}=Q'_{tot}\ x(10/20)\% \quad [kW]$$

Avec :

$$Q'_{tot}=Q_{tr}+Q_{re}+Q_{op}+Q_{ec}+Q_{PE}+Q_{mr}+Q_{md}+Q_{de}+Q_{resp}$$

IV. 2.4.Charge thermique totale Corrigée :

Elle est la somme de toutes charges thermiques précédentes :

$$Q_{tot}= Q'_{tot}+ Q_{Inc}\ [kW] \qquad \text{…….....(IV.28)}$$

IV.2.5. Calcul de la puissance à installer :

Cette puissance est calculée en fonction du temps de fonctionnement ainsi des apports calorifique (déjà calculés).

Dans le cas d'un fonctionnement pratique moyen de 18h par jour l'expression de la puissance à installer :

$$Q_0= Q_{tot}.d/\tau \ [kW] \qquad \text{…….....(IV.29)}$$

IV.3. Méthode de calcul :

IV. 3.1. Les charges thermiques externes :

IV.3.1.1. Charge thermique par transmission à travers les parois (Q_{tr}) :

On a :

$$Q_{tr}=k.S.\ \Delta t \quad [W] \qquad \text{…….....(IV.30)}$$

On prend comme un exemple de calcul **:**

Mur1:

K=0.17 [W / m^2 C].

S=324 m^2

$\Delta t = t_e-t_i=15-(-18) =33$ [°c].

Les autres parois sont caractérisées dans le tableau suivant :

Désignation	S [m^2]	Δt [°c]	K [W / m^2 C]	Q [W]
Mur n° 1	108	33	0.17	605.88
Mur n°2	104	12	0.17	212.16
Mur n°3	108	33	0.17	605.88
Mur n°4	104	11	0.17	194.88
Plancher	324	55	0.058	1033.56
Plafond	324	33	0.17	1817.64
porte	8	33	0.17	44.88

Tableau IV-9 : caractéristiques de la chambre froide.

$\mathbf{Q_{tr}}$ de la chambre froide est égale la somme de $\mathbf{Q_{tr}}$ de toute les parois de la chambre.

→ $\mathbf{Q_{tr}} = \sum \mathbf{Q_{tr}}$ =605.88+212.16+605.88+194.88+1033.56+1817.64+44.88

Q_{tr} =4514.88 w = 4.514 kw

$$\mathbf{Q_{tr}=k.S.\ \Delta t =4514.88W = 4.885\ Kw} \quad \text{.....(IV.31)}$$

IV. 3.1.2 Charge thermique par renouvellement d'air (Q_{ra}) :

$$\mathbf{Q_{ra}=m_{a,e}\times\Delta h = 0.062\times47.34=2.942\ Kw} \quad \text{.....(IV.32)}$$

On a :

→ $V_{a,e}=V_{cf}$. n → V_{cf} = L.l.H =18×18×6=1944 m^3.

→n=70/√1944 =**1.58≈ 2 [d^{-1}].**

→ $V_{a,e}$=1944×2=**3888 m^3/jour.**

→ $\rho_{a,a}$=1.0293/1+(-18/273.15)=**1.382 Kg/m^3**.

$$\mathbf{\Delta h= h_{a,e} - h_{a,a}=31\ ,13+16,\ 21=47,34\ [kJ/Kg]} \quad \text{.....(IV.33)}$$

On a aussi **:**

- φ_i=85%.
- T_i=-18 [°C] .
  D'après le diagramme psychrométrique en trouve
  $h_{a,a}$ = **-16,21[KJ /Kg] .**

On a :

- Φ_{ex}=60%
- T_{ex}=15 [°C] .
  Donc d'après le diagramme psychrométrique on trouve :

$h_{a,e}$=**31,13 [KJ/Kg] .**

IV. 3.1.3.Charge thermique due à l'ouverture de portes (Q_{op}) :

$$Q_{op}=[8.0+(0.067\times \Delta T_p)]\times \tau_p\times \rho_{a,a}\times L_p h_p \times\sqrt{}\, h_p(1-(\rho_{a,e}/\rho_{a,a})\times (h_{a,e}-h_{a,a}).c_{ra} = 20.24\ [Kw]$$

- $\Delta t_p=t_{ex}-t_{in}$=15-(-18)=33 **°C ;**
- τ=18min/h
- $\rho_{a,a}$=1.382 **[Kg/m^3] ;**
- $L_p h_p$=2.5×1.6=**4m²**
- $P_{a,e}=p_0/1+t_{ex}/273.15$=1.0293/1+15/273.15=**1.229 [Kg /m^3]**
- h_{aa}=-16.21 [**KJ /Kg].**
- h_{ae}=31.13**[KJ/Kg].**
- C_{ra}=1

IV. 3.2.les charges internes :

IV. 3.2.1.charges thermiques internes indépendantes des poissons entreposés :

IV.III.2.1.1.Charge thermique due à l'éclairage (Q_{ecl}) :

$$Q_{ecl}=P.S.\ \tau_d=6\times 324\times 0.166=0.322\ [Kw] \qquad \text{.....(IV.34)}$$

- P=6W/m² ;
- S=18× 18=324 m² ;
- τ_d =0.166

IV.3.2.1.2.Charge thermique dues aux personnes :

$$Q_{pe}=n.q_p.\tau/24=3\times 382\times 0.166=0.127\ [kw] \qquad \text{.....(IV.35)}$$

- n=2;
- q_p= (d'après le tableau)=**382m^2**
- τ/24=4/24→**0.166**

IV.3.2.1.3.Charge thermique dues aux matériels roulants(Q_{mr}) :

$$Q_{mr} = n.P.\tau/24 = 3\times3700\times0.166 = 1.842\ [kw] \quad \text{.....(IV.36)}$$

- n =3 ;
- P=3700w ;
- τ/24=4/24=**0.166.**

IV.3.2.1.4. Charges thermiques dues aux machine diverses :

$$Q_{md} = (n\times P\times\tau)/24 = (2.5000.16)/24 = 6.666\ [Kw] \quad \text{.....(IV.37)}$$

- n =2 **(1 étuve ; 1 hachoir) ;**
- P= (3000+2000)=**5000 w**
- τ=16h.

IV.3.2.2.Charges thermiques internes dépendantes des produits entreposées :

IV.3.2.2.1. Charges thermiques dues aux produits entrants :

$$Q_{de} = (m.c_1\times(t_1-t_2)\times m\times l + m\times c_2\times(t_2-t_1)/86400 = -0.005\ [Kw] \quad \text{.....(IV.38)}$$

- m=720000kg **;**
- c_1=3.1 **;**
- c_2=1.67
- t_1=-18°C **;**
- t_2=2.8°C**.**
- l=274[kj/kg]

IV .3.2.2.2. Charges thermiques dues aux moteurs des ventilateurs de batteries :

$$Q_{vent} = (n\times P\times\tau)/24 = (2\times1000.16)/24 = 1.333\ [Kw] \quad \text{.....(IV.39)}$$

- n=2 ;
- P=1000 w ;
- τ=16h.

IV.3.2.2.3.Charges thermiques dues à la respiration des denrées : → 0w

IV.3.2.2.4. Charge thermique due aux résistances dégivrage ($Q_{dég}$) :

$$Q_{dég}=(n\times P\times \tau)/24=(2.2000.16)/24=2.666 \ [Kw]$$

- n=2 ;
- P=2000 w ;
- τ=16h.

IV.3.3. Charges thermiques incalculables :

$$Q_{Inc.}=Q'_{tot}\ x(10/20)\%=0.82\ [kW] \quad \text{.....(IV.40)}$$

Avec :

$$Q'_{tot}=Q_{tr}+Q_{re}+Q_{op}+Q_{ec}+Q_{PE}+Q_{mr}+Q_{md}+Q_{de}+Q_{resp}=41.208\ [kW]$$

IV.3.4. Charge thermique totale Corrigée :

$$Q_{tot}=Q'_{tot}+Q_{Inc}=41.208+0.82=42.028\ [kW] \quad \text{.....(IV.41)}$$

IV.3.5.Calcul la puissance à installer :

$$Q_0=Q_{tot}.d/\tau=63.042\ [kW] \quad \text{.....(IV.42)}$$

On conclure les résultat dans ce tableau :

Les Charges Thermique	Q_{tr}	Q_{ra}	Q_{op}	Q_{ec}	Q_{per}	Q_{mr}	Q_{md}	Q_{pe}	Q_{de}	Q_{deg}	Q_{vent}	Q_0
Les valeurs **[Kw]**	**4.885**	**2.942**	**20.24**	**0.322**	**0.127**	**1.842**	**6.666**	**0.190**	**-0.005**	**2.666**	**1.333**	**63.042**

Tableau VI-10 :les charges thermiques de la chambre froide (-18°C)

Conclusion :

D'une manière générale, les résultats obtenus sont satisfaisants.

Introduction :

Lorsque nous avons abordé le principe de cycle frigorifique, nous avons vu que, d'après le second principe de la thermodynamique. Ce cycle était irréalisable sans les secours d'un compresseur. En effet sans compresseur, il est impossible de porter les vapeurs de fluide frigorigène sortant de l'évaporateur d'un bas niveau de température (et donc de pression) à un niveau de température (aussi de pression) plus élevé nécessaire pour qu'il puisse y avoir condensation c'est à dire évacuation de la chaleur à la température ambiante au moyen d'air ou d'eau.

Les compresseurs actuellement utilisés dans les industries frigorifiques sont de deux types :

Les compresseurs volumétriques qui comprennent notamment :

- Les compresseurs alternatifs à piston.
- Les compresseurs à vis.
- Les compresseurs rotatifs (cellulaires).

Les compresseurs rota dynamiques qui comprennent essentiellement :

- Les compresseurs centrifuges(ou turbo compresseur).
- Compresseurs ouverts dans le quel l'arbre ou toute autre partie en mouvement sort à l'extérieur du carter étanche de compresseur.
    - Moto compresseur qui peut être de type :
    - Le flux continu.
    - Le flux alternatif.

Il existe de très nombreux types de compresseurs alternatifs à pistons qui comprennent :

- Hermétique.
- Hermétique accessible (semi-hermétique).
- Hermétique à stator externe.

Les dispositifs d'aspirations des compresseurs peuvent être réalisés suivant deux principes :

- Le flux continu.
- Le flux alternatif.

V.1.1.Le choix des compresseurs :

Le choix de compresseur est caractérisé par :

- La température d'évaporation **« t_{ev} »** ;
- La température de la condensation **« t_{ec} »** ;
- La puissance frigorifique **« Q_{ev} ».**

V.1.2. Les caractéristiques de compresseurs :

V.1.2.1. Caractéristiques géométriques :

Le volume balayé par les pistons lors leur course d'aspiration pendant un tour de l'arbre.

$$V_b = (\pi d^2/4) \times L \times N \times W \quad \text{.....(V.1)}$$

- **d** : L'alésage des cylindres **[m]** ;
- **L** : La course des pistons **[m]** ;
- **N** : Nombre de cylindres.
- **W** : Vitesse de rotation **[tour/min]**.

Le débit massique de fluide : c'est le nombre de kilogramme de fluide ayant circulé dans le compresseur pendant l'unité de temps.

$$D_m = V_a / V_o \quad \text{.....(V.2)}$$

- **V_a:** Volume aspire.
- **V_o:** Volume massique de fluide à la temperature d'évaporation et pression d'évaporation.

V.1.2.2.Caractéristiques mécaniques :

Les caractéristiques mécaniques de compresseurs sont :

- La pression moyenne indique **P_m** qui aurait rayonnée dans le cylindre pendant un tour de l'arbre.
- Le travail **W**.
- La puissance indiqué **P_i** correspond au travail effectue.
- La puissance effective c'est la puissance à fournir sur l'arbre de compresseur.

V. 1.2.3.caractéristiques thermique :

Les caractéristiques thermiques sont:

- La puissance frigorifique **Φ_0 .**
- La puissance frigorifique par **Kg** de fluide frigorigène circulant **Φ_{0m}.**
- La production frigorifique spécifique indiquée **K_p** se donne par la relation :

$$K_p = \Phi_0 / P_{ev}$$

V. 1.2.4.Caractéristiques qualificatifs :

- **Le coefficient de performance** :

C'est le rapport de la production de froid au travail fournit pour obtenir ce résultat, la valeur est toujours supérieur à 1 :

$$COP = \Phi_0 / W \quad \text{.....(V.3)}$$

- **Le rendement volumétrique** η_v :

Le rendement volumétrique c'est le rapport de volume réellement aspiré à celui qu'il serait théoriquement possible d'aspiré ou le volume balayé V_b.

$$H_v = V_{asp}/V_b \quad \text{.....(V.4)}$$

Le rendement volumétrique décroit lorsque le taux de compresseur s'élever. Dans le demain des taux de compression courants la décroissance de η_v avec le taux de compresseur est sensiblement linéaire donc :

$$\eta_v = 1\text{-}a\,\tau \quad \text{.....(V.5)}$$

Ou :

a=0.04-0.07 (ordinairement la valeur 0.05 fréquemment utilisé).

D'autre relation font intervenir à juste titre l'espace mort **ε** ou le taux d'espace mort **ε/V** il on est ainsi des relations suivantes :

$$\eta_v = 1\text{-}((\varepsilon+0.046)/1+0.069\,\tau)\,\tau \quad \text{.....(V.6)}$$

$$\eta_v = 0.9[1+(\varepsilon/V)(1-\tau^{0.79})] \quad \text{.....(V.7)}$$

- **τ=P_c/P_0.** C'est le rapport de la pression de refoulement et d'aspiration (taux de compression).
- **Rendement effectif** η_{eff} **:**

C'est le rendement qui permet de déterminer la puissance absorbée sur l'ordre du compresseur réel par unité de masse de frigorigène de place , P_{eff} à partir de la puissance absorbée par unité de masse de fluides déplacer par les forces de pression dans un compresseur parfait isotopique P_{th}.

$$\eta_{eff} = P_{th}/P_{eff}$$

$$P_{th} = (h_2-h_1)\times D_m$$

Puissance théorique :

$$\eta_{eff}=\eta_i-\eta_m \quad \text{……(V.8)}$$

- η_i **:** Rendement indiquée tien compte des pertes thermique.
- η_m **:** Rendement mécanique tien compte d'une partie de l'énergie perdue par des opérations thermodynamiques que purement mécanique :

$$\eta_m=P_i/P_{eff} \quad \text{……(V.9)}$$

- **Rendement électrique η_{el} :**

On se doit d'éliminer l'importance de la surpression du moteur pour conserver une valeur relevée au rendement du moteur et pour que son facteur de puissance reste correct :

$$\eta_{el}= P_{eff}/(P_{el}\times\eta_{tr}) \quad \text{……(V.10)}$$

- P_{el} **:** Puissance électrique du moteur.
- η_{tr} **:** Rendement de la transmission mécanique tien compte des pertes dues de frottement au cours de la transmission.
- **Entrainement des compresseurs :**

L'entrainement des compresseurs est assuré par des dispositifs d'entrainement, ils sont classés en deux catégories :

- Les dispositifs d'entrainement direct sont :
  - Arbre commun (moto compresseur).
  - Arbre en ligne (manche d'accouplement).
- Les dispositifs d'entrainement indirect sont :
  - L'entrainement est assuré par transmission courroies

***V.1*.3.Méthode de dimensionnement :**

- **Calcule du volume aspiré V_a :**

$$V_a=D_m\times V_1 \quad \text{……(V.11)}$$

- V_a **:** Le volume massique du vapeur surchauffé.
- D_m **:**Débit massique du vapeur **[Kg/s].**

- **Calcule du volume balayé V_b :**

$$V_b= (\pi d^2/4) \times L\times N\times W$$

A partirai de débit volumétrique balayé et la température de condensation et la température d'évaporation et d'après les catalogues « ECOPLAND » par exemple, on tire le modèle de compresseur utilisé.

- **Calcule de la puissance effective du compresseur :**

$$P_{eff} = P_{th} / \square_{eff} \quad \text{……(V.12)}$$

V.2. Calcule et choix de compresseurs :

V. 2.1.Le choix des compresseurs de notre chambre de réfrigération :

Notre chambre de conservation des médicaments thermosensibles (4°C) a des caractéristiques suivantes :

- Q_0= 63.042**[kw] ;**
- Le fluide frigorigène utilisé dans notre installation frigorifique : **R404a** ;
- La température d'évaporation : t_{ev}**= -24 °C ;**
- La température de condensation : t_c**=45 °C ;**
- Surchauffe : **5 °C ;**
- Sous-refroidissement :**10 °C.**

D'après l'application **SOLKANE,** et les caractéristiques suivant de la chambre on obtient le cycle frigorifique suivant :

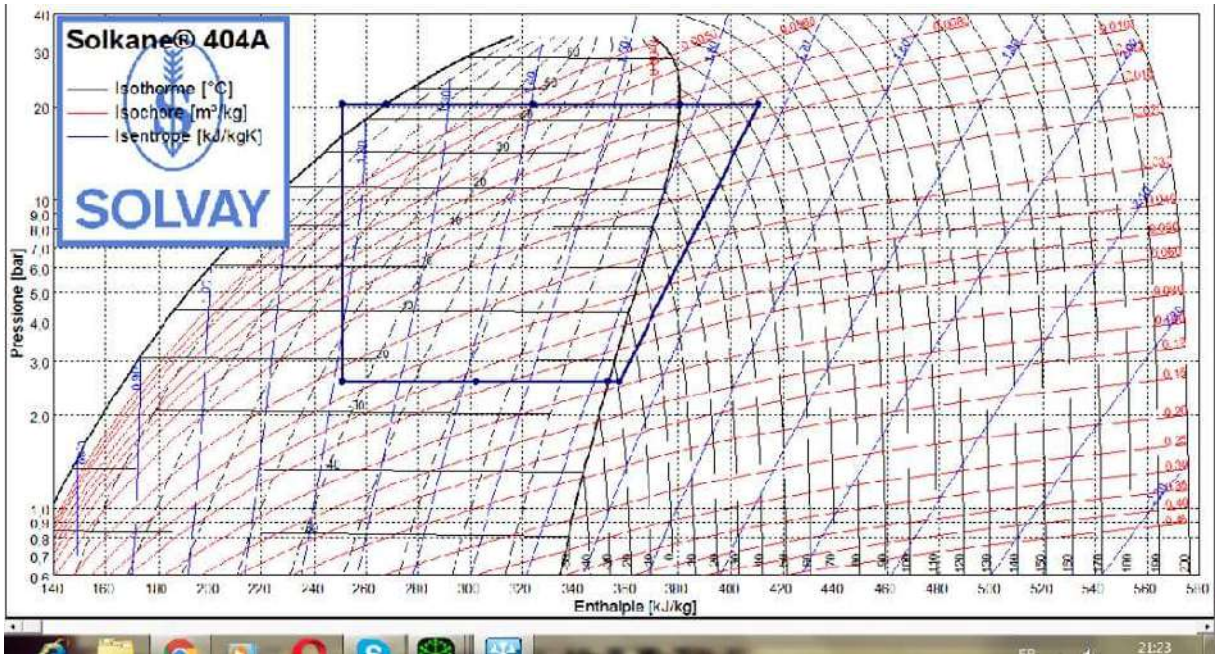


Figure V.23 : Le cycle frigorifique de la chambre froide (-18°C).

Les différents points caractérisés le cycle frigorifique sont résumés dans le tableau suivant :

Point	**P** (bar)	**T** (°C)	**V** (dm^3/Kg)	**H** (Kj/Kg)	**S** (Kj/Kg.K)	**X** ----
1	2.57	-19	77.36	357.33	1.6393	
2	20.44	66.96	10.63	410.76	1.6711	
3	20.44	66.96	10.63	410.76	1.6711	
3'	20.44	45.00	8.48	380.67	1.5795	
4	20.44	34.69	1.01	251.13	1.1723	
4'	20.44	44.69	1.07	267.73	1.2256	
5	2.57	-24.34	34.56	251.13	1.2135	0.453
5'	2.57	-24.17	54.92	302.08	1.4178	
6	2.57	-19.00	77.36	357.33	1.6393	

Tableau V.13 : Les différents points de cycles frigorifique.

Et pour obtenir le dimensionnement de compresseur utilisé dans notre chambre froide on a utilisé **BITZER** :

- **Présentation de logiciel BITZER :**

Ce logiciel de sélection est un outil fiable qui permet de choisir des matériels parmis la large gamme des produits BITZER.

- **Un seul programme pour toute la gamme :**

✓ Compresseurs à Pistons ;

✓ Groupe de condensation à air ;

✓ Compresseurs à vis ;

✓ Compresseurs Scroll ;

✓ Condenseurs à eau ;

✓ Choix de la langue en Allemand, Anglais, Français, Italien, Espagnol, Portugais, Russe, Chinois et Japonais.

- **Une convivialité renforcée :** par une illustration graphique des produits permettant un accès direct aux fiches de sélection (Diagrammes de limites d'application, donnée techniques, schémas dimensionnel et instructions de service).
- **Les données de performance peuvent aussi bien être exportées :** sur imprimante mais aussi être exploitées comme fichier PDF. En plus des fiches de calcul et des données techniques, vous pouvez également réaliser des tableaux de performance individualisés.
- **Autres options :**

✓ Groupes de condensation mono étagés: LH265E pour application températures ambiantes élevées ;

- ✓ Groupes de condensation mono étagés: Informations de performances au R448A/R449A/R450A/R513A ;
- ✓ Groupes de condensation mono étagés: Certification ASERCOM ;
- ✓ Groupes de condensation bi-étagés: avec les nouveaux condenseurs LHE ;
- ✓ Informations de performances pour les groupes de condensation bi-étagés au R407F ;
- ✓ VARISPEED avec pompe à huile ;
- ✓ Informations de performances pour l'upgrade des CSVH.

- **Dimensionnement de compresseur :**

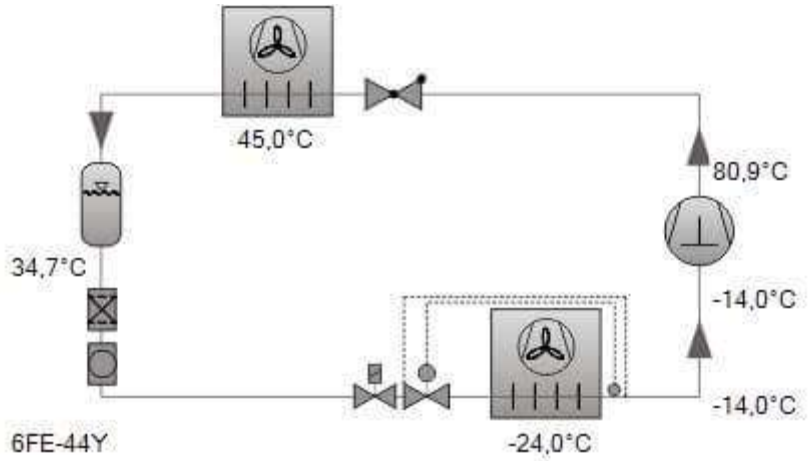


Figure V.24 : Schéma de l'installation frigorifique de la chambre froide (-18°C).

Détermination du compresseur: Compresseurs à pistons semi-hermétiques **;**

- **Données de départ:**

Puissance frigorifique	63.042
Mode	Réfrigération et air conditionné
Fluide Frigorigène	R444a
Température de référence	Point de rosée
Température d'évaporation	-24 °C
Température de condensation	45 °C
Sous- Refroidissement	10°C
Surchauffe	5 °C
Mode de travail	Auto
Tension d'alimentation	380-420V-50Hz
Régulateur puissance	100%
Surchauffe utilisable	100%

Tableau V.14 : Les données de départ.

Le résultat obtenu d'après **BITZER** est :

Compresseur	**6FE-444Y-40P**
CAPACITY STEPS	**100%**
Puissance frigorifique	**43.9 Kw**
Puissance frigorifique *	**44.1 Kw**
Puissance. Evaporateur	**43.9 Kw**
Puissance. Absorbée	**26.9 Kw**
Intensité (400V)	**50.8A**
Plage des tensions	**380-420V**
Puissance de condensation	**70.8Kw**
Facteur de puissance	**2.51**
Facteur de puissance *	**1.64**
Débit masse	**1440 Kg/h**
Mode de travail	**Standard**
Température gaz refoulement non refroidi	**80.9°C**

Tableau V.15 : Les caractéristiques de compresseur utilisé.

- **Données techniques :**

Volume déplacé (1450t / mn 50Hz)	151.6m^3/h
Volume déplacé (1750t / mn 60Hz)	183.0 m^3/h
Nombre de cycle. X percement x courses	6×82 mm× 60mm
Poids	293 Kg
Pression max (BP/HP)	19/32 bar
Raccord cond .d'aspiration	54 mm-2 1/8 "
Raccord cond.de refoulement	42 mm-1 5/8"
Huile pour R404a	BSE32(standard)/R404a T_c >70°C :BSE55
Huile utilisée R22	B5.2 (Option)

Tableau V.16 : Informations techniques.

Version de moteur	2
Tension moteur (autre sur demande)	380-420V-50Hz
Intensité de fonctionnement max	83.2 A
Ratio de bobinage	50/50
Int. démarrage (rotor bloqué)	219.0 A Y / 362.0 A YY
Puissance absorbée max	46.0 Kw

Tableau V.17 : Informations moteur.

Calcul thermodynamique :

- Q_0=63.042 KW ;
- $q_0=h_1-h_5$=357.33-251.13=106.2Kj/Kg ;
- $m_{asp}=Q_0/q_0$= 0.59 Kg/s ;
- $w=h_2-h_1$=410.76-357.33=53.43Kj/Kg ;
- $P_{th}=m_{asp}$ .w = 0.59×53.43=31.5237 Kw ;
- $COP=Q_0/P_{th}$ = 1.99
- $q_c= h_2-h_4$=410.76-251.13=159.63 Kj/Kg ;
- $Q_c=m_{asp}.q_c$= 94.1817 Kw ;
- $Q_{c\ ver}=P_{th}+Q_0$= 94.5657 Kw ;
- Erreur=($Q_{c\ ver}+ Q_c$)/ $Q_{c\ ver}$ =1.99

CONCLUSION :

Dans notre cas, il est possible de prendre ce type comme un compresseur, malgré il a une grande masse.

Pour éviter ce problème il est préféré de changer ce cycle par un cycle double étagé .

Conclusion Générale

Conclusion générale :

Dans notre projet de fin d'étude intitulé optimisation des paramètres d'une chambre froide pour produit alimentaire poisson on a évoqué d'une généralité sur les principes de la thermodynamique avec quelques définitions sur le froid et en a fait une étude sur la chambre froide avec leurs catégories et son principes de fonctionnement.

Le froid est donc une utilité industrielle d'un grand intérêt notamment dans son utilisation dans les chambres froide en utilisant une technique d'une grande précision pour conserver des produits qui peuvent être périssable à fin de les utiliser toute en gardant la qualité, la valeur sanitaire et les paramètres de la santé.
On a constaté aussi que l'utilisation de chambres froides est très important dans la zone alimentaire dans l'intervalle de température [0°C,-18°C] (congélation) .

L'évaluation précise des charges d'une chambre froide n'est pas simple. En effet beaucoup de facteurs sont à prendre en compte. Parmi ceux-ci on peut citer les conditions géographiques, la nature de l'isolation, le type d'aliments à conserver, les conditions d'exploitation de la chambre froide notamment les types de machines utilisés, le nombre des opérateurs qui sont présents dans la chambre ... etc. Ainsi un grand nombre de cas de figures peuvent se présenter.

L'objectif de notre projet a été de mettre en place un outil permettant de prendre en compte tous ces cas de figure et d'effectuer le calcul des charges correspondantes.

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

BIBLIOGRAPHIE

[1] Application industrielles du froid, techniques de l'ingénieur, BE 9 756.

[2] Maxime Duminil, Généralités,Théorie des machines frigorifiques, Techniques de l'Ingénieur, 2012. BE9730

[3] Jean-Pierre, Machine à compression mécanique, Théorie des machines frigorifiques, Techniques de l'Ingénieur, 2014.

[4] Georges VRINAT, Froid et développement durable,Machines frigorifiques industrielles, Techniques de l'Ingénieur, 2009,BE9740.

[5] Le poisson congelé, Dossier d'information pour les PME d'Afrique sur la transformation agroalimentaire

[6] Technique du froid cours de base, Edition : juillet07, YSH04054

[7] Vrinat G. Production du froid. Technologie des machines industrielles, traité Génie énergétique, Techniques de l'Ingénieur, oct. 1991, B2365.

[8] Projet fin d'études, Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master «Caractérisation et conception d'un système de réfrigération » , Djadi Kamilia, 2015.

[9] : P.J. RAPIN et P. JACQUARD, Installations frigorifiques, Editions PYC

[10] Froid et l'environnement, Denis LEDUCQ, Cemagref, 2009.

[11] Synthèse du projet de fin d'études, William FOTI « Optimisation des modes opératoires des machines frigorifiques », Septembre2012.

[12] www.madari.com , consulter le 03/05/2016.

[13] www.luximer-magazine.com, consulter le 03/05/2016.