

Université de Bouira
Akli Mohand Oulhadj



جامعة البويرة
أكلي محمد أولحاج

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique

N° d'ordre :...../Mas/2018

Série :...../GC/2018

Mémoire de Fin d'Etude Master (LMD)

En vue d'obtention d'un diplôme de Master

Filière : Génie climatique

OPTION : Génie climatique

Thème

*Etude d'une chambre froide située dans
une zone saharienne*

Réalisé par :

Belkahla walid et Chibane abderahim

Soutenu le : 17/10/2018

Devant le jury composé de :

Président :	M ^r . MOUSSAOUI.M	MAA	Université de Bouira
Rapporteur :	M ^r . MESSAI .T	MAA	Université de Bouira
Examineurs:	M ^r . HAMIMID.S	MCB	Université de Bouira
	M ^r . BOUREGBIL	MAA	Université de Bouira

Remerciements

Avant tous nous remercions le bon dieu de nous avoir guide vers le bon chemin de la lumière et du savoir.

Nous remercions vivement monsieur Messai Tarek, pour l'honneur qu'il nous a fait en encadrement, et son entière disponibilité durant toutes les étapes de notre mémoire.

Nous exprimons notre reconnaissance a tous les membres de jury d'avoir accepté de lire et d'apporter les critiques nécessaires a la mise en forme finale de ce mémoire.

Nous n'oublierons pas aussi remercier nos parents et nos frères et sœurs et tous ceux qui nous ont aide et encouragé pendant toute cette période.

Dédicace

*J'ai toujours **pensé** faire où **offrir** quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tout ce que ils ont consenti des efforts rien que pour me voir réussir, Et voilà, l'occasion est venue.*

*Au nom de l'amour de l'obéissance et de respect, je dédie ce travail : A mes très chers parents. **Papa**, ce grand homme, toujours prêt à me tendre la main lorsqu'e j'en ai besoin, ce repère toujours présent pour guider mes pas, ce merveilleux père qui n'a jamais hésité à tout sacrifier pour ces enfants. **Maman**, cette amie qui m'a donné la vie, cette déesse de douceur toujours prête à dire que tout ira bien, cette maman, qui partage avec nous les joies et les peines avec tout son cœur, aujourd'hui et du fond de mon cœur, je te dis '**merci ma mère**'. A mes chers frères et sœurs, la source de courage, A mon binôme **Walid** et sa famille. A tous mes **Amis**. A tous les groupes **EN et GCF** ainsi que les étudiants de **Bouira**.*

Chibane Abderahim

Dédicace

*J'ai toujours **pensé** faire où **offrir** quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tout ce que ils ont consenti des efforts rien que pour me voir réussir, Et voilà, l'occasion est venue.*

*A ceux qui m'ont donné la **vie**, symbole de beauté, et de fierté, de sagesse et de patience.*

*A ceux qui sont la source de mon **inspiration** et de mon **courage**, à qui je dois de l'**amour** et la **reconnaissance**.*

- ② *A mes **parents**.*
- ② *A toute mes frères et sœurs.*
- ② *A mon binôme **Abderahim** et sa famille.*
- ② *A tous mes **Amis**.*
- ② *A tous les groupes **EN** et **GCF** ainsi que les étudiants de **Bouira**.*

Belkahla Walid

Sommaire

Rremerciement	
Dédicace	
Sommaire :	I
Nomenclatures :	VII
Liste des figures :	XI
Liste des tableaux :	XIII
Introduction générale :	1

Chapitre I : Les données solaires

I.1. INTRODUCTION :	3
I.2. LE SOLEIL :	3
I.2.1. La constante solaire :	3
I.2.2. Le mouvement de la terre :	4
I. 3. Les coordonnées célestes :	4
I. 3.1. Les coordonnées géographiques :	4
I.3.1.1. La latitude ' φ ' :	4
I.3.1.2. La longitude 'L' :	5
I.3.1.3. L'altitude :	5
I.3.2. Les coordonnées horaires :	5
I.3.2.1. La déclinaison ' δ ' :	5
I.3.2.2. L'angle horaire ' ω ' :	5
I.3.3. Les coordonnées horizontales :	6
I.3.3.1. L'angle de la hauteur du soleil 'h' :	6
I.3.3.2. L'azimut ' α ' :	7
I.4. LES TEMPS SOLAIRES :	7
I.4.1. Le Temps Solaire Vrai (T.S.V) :	7
I.4.2. Le Temps Solaire Moyen (T.S.M) :	8

Sommaire

I.4.3. Le Temps Universel (T.U) :	8
I.4.4. Le Temps Légal (T.L) :	8
I.5. ENERGIE SOLAIRE :	9
I.5.1. Rayonnement solaire :	9
I.5.1.1. Le rayonnement direct :	9
I.5.1.2. Le rayonnement diffus :	9
I.5.1.3. Le rayonnement solaire réfléchi :	10
I.5.1.4. Le rayonnement global :	10
I.5.2. Le gisement solaire en Algérie :	10
I.6. LE CLIMAT :	12
I.6.1. Definition :	12
I.6.2. Climat de la planete :	12
I.6.3. L'effet de serre :	12
I.6.4. Les changements climatiques :	12
I.6.5. Elements des climats :	13
I.6.6. Classification des climats :	13
I.7. LE CLIMAT EN ALGERIE :	13
I.7.2. Données climatiques du Hassi Messaoud :	15

Chapitre II : Les chambres froides

II.1. Historique :	17
II.2. Introduction :	18
II.3. Chaîne du froid :	18
II.4. La réfrigération :	19
II.5. La congélation :	22
II.6. La surgélation :	22
II.7. Les chambres froides :	23

Sommaire

II.7.1. Définition :	23
II.7.2. Classification des chambres froides :	23
II.7.3. Dispositions constructives des entrepôts frigorifiques :	24
II.7.3.1. Plancher :	24
II.7.3.2. Sol :	24
II.7.3.3. Murs :	25
II.7.3.4. Toiture :	26
II.7.3.5. Plafond :	26
II.7.4. Isolation des chambres froides :	26
II.7.4.1. Généralités sur l'isolation :	26
II.7.4.2. La conductivité thermique ou coefficient de conductibilité des matériaux :	27
II.7.4.3. Les norme d'isolation :	27
II.7.4.4. Isolation traditionnelle :	28
II.7.4.5. Panneaux préfabriqués :	29
II.8. Les appareilles des chambres froides :	29
II.8.1. Les organes principaux d'une machine frigorifique :	29
II.8.1.1. Les compresseurs :	29
II.8.1.1.1. Les types de compresseurs :	30
II.8.1.1.2. Sélection du compresseur :	31
II.8.1.2. Les condenseurs :	31
II.8.1.3. Les détendeurs :	33
II.8.1.4. Les évaporateurs :	33
II.8.1.5. Le dégivrage :	34
II.8.2. Les organes annexes :	35
II.8.2.1. Le réservoir de liquide :	35
II.8.2.2. La bouteille anti-coups de liquide :	35
II.8.2.3. Le séparateur d'huile :	36

Sommaire

II.8.2.4. Les pompe :	37
II.8.2.5. Les ventilateurs :	37
II.8.2.6. Le filtre deshydrateur :	38
II.8.2.7. Les voyants :	38
II.8.2.8. Eliminateur de vibrations :	39
II.8.2.9. Les électrovannes :	40
II.9. Les fluides frigorigènes :	40
II.9.1. Définition :	40
II.9.2. Classification des fluides frigorigène :	41
II.9.3. Les caractéristiques physiques du fluide frigorigène parfait :	41
II.9.4. Le choix d'un fluide frigorigène :	42

Chapitre III : Bilan Thermique

III.1. GENERALITES :	44
III.2. CHARGES THERMIQUES EXTERNES :	44
III.2.1. Charge thermique par transmission à travers les parois Q_{tr} :	44
III.2.2. Charge thermique due au renouvellement d'air Q_{re} :	46
III.2.3. Charge thermique par ouverture des portes Q_{op} :	47
III.3. CHARGES THERMIQUES INTERNES :	48
III.3.1. Charges thermiques internes indépendantes des produits entreposés :	48
III.3.1.1. Charge thermique due à l'éclairage :	48
III.3.1.2. Charge thermique due aux personnes :	49
III.3.1.3. Charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs :	49
III.3.1.4. Charge thermique due aux résistances de dégivrage :	50
III.3.2. Charges thermiques internes dépendantes des denrées entreposées :	50
III.3.2.1. Charge thermique due aux denrées entrantes Q_{de} :	50
III.3.2.2. Charge thermique due à la respiration des denrées Q_{res} :	52

Sommaire

III.4. CHARGE FRIGORIFIQUE EFFECTIVE :	52
III.5. Calcule des charges thermiques :	52
III.5.1. Calcule des charges externes :	52
III.5.1.1. Charge thermique par transmission à travers les parois :	52
III.5.1.2. Charge thermique due au renouvellement d'air :	54
III.5.1.3. Charges thermiques due a l'ouverture des portes :	56
III.5.2. Calcule des charges internes :	62
III.5.2.1.charges thermiques indépendantes des denrées :	62
III.5.2.1.1.charges thermiques due a l'éclairage :	62
III.5.2.1.2.charges thermiques due aux personnes :	63
III.5.2.1.3.Charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs :.....	64
III.5.2.1.4.Charge thermique due aux résistances de dégivrage :	64
III.5.2.2. Charges thermiques dépendantes des denrées :	65
III.5.2.2.1. Charges thermiques due aux denrées entrantes :	65
III.5.2.2.2. Charge thermiques due a la respiration des denrées :	66
III.6. L'INFLUENCE DE TEMPERATURE EXTERIEUR SUR LES APPORTS CALORIFIQUES :	66

Chapitre IV : Calcul des paramètres énergétiques

IV.1. RAPPEL THERMODYNAMIQUE :	68
IV.1.3. Le cycle frigorifique réel:	69
IV.2. CALCUL LE BILAN ENERGETIQUE :	70
IV.1.2. Bilan énergétique:	70
IV.2.1. Chambre 1 :	71
IV.2.2. Chambre 2 :	72
IV.2.3 .Chambre 3 :	73
IV.2.4. Chambre 4 :	75

Sommaire

Conclusion générale :	80
Références Bibliographiques :	81
Résumé	

Nomenclature

I_c	Le rayonnement solaire	W/m^2
I_0	La constante solaire	W/m^2
φ	La latitude	°
L	La longitude	°
n_j	Numéro du jour de l'année	
δ	La déclinaison	° ou rad
ω	L'angle horaire	° ou rad
h	La hauteur du soleil	° ou rad
α	L'azimut	° ou rad
Et	L'équation du temps	
j	Jour	
s	semaine	
m	mois	
qx	Flux de chaleur	W
A	la surface	m^2
dT	Gradient de température	K, °C
λ	La conductivité thermique	W/m.K
Q_{tr}	Charge thermique par transmission à travers les parois	W
K	coefficient de transmission thermique	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
S	Surface de la paroi	m^2
ΔT	différence de température	°C

Nomenclature

e	épaisseur de la paroi	m
h_e	Coefficient de convection extérieur	w/m ² .°C
h_i	Coefficient de convection intérieur	w/m ² .°C
Q_{re}	Charge thermique par renouvellement D'air	w
m_{ae}	Débit massique de l'air extérieur	kg/s
Δh	Différence d'enthalpie	J/kg
v	Débit volumique	m ³ /j
ρ	masse volumique de l'air	kg/m ³
n	Taux de renouvellement de l'air Extérieur	
V	Volume de la chambre froide	m ³
Q_{op}	Charge thermique par ouverture des portes	w
t_{ouv}	Temps d'ouverture des portes	mn/h
ρ_{aa}	Masse volumique de l'air dans la chambre froide	kg/m ³
ρ_{ae}	Masse volumique de l'air de l'autre côté de la porte	kg/m ³
h_{aa}	Enthalpie de l'air dans la chambre froide	KJ/kg
h_{ae}	Enthalpie de l'air de l'autre côté de la porte	KJ/kg
l	Largeur de la porte	m

Nomenclature

h	Hauteur de la porte	m
C_{min}	Coefficient de minoration dû à la présence éventuelle d'un rideau d'air	
dt	Durée moyenne d'ouverture des portes	mn/t
f_j	Flux journalier de marchandises	(t/j)
Q_{ec}	Charge thermique due à l'éclairage	w
n	Nombre de luminaires	
P	la puissance	w
t	Le temps	h/j
q	Quantité de chaleur	w
Q_{pe}	Charge thermique due aux personnes	w
Q_{vent}	Charge thermique due aux moteurs des évaporateurs	w
Q_{deg}	Charge thermique due aux résistances de dégivrage	W
Q_{de}	Charge thermique due aux denrées entrantes	W
m	La masse	kg
T	la température	°C
C	capacités thermique massique	J/kg
L	chaleur latente de congélation	J/kg
a	Teneur en eau	
b	Teneur en matière solide	
Q_{res}	Chaleur due à la respiration des denrées	W
q_{resp}	Chaleur de respiration de la marchandise	J/kg/j

Nomenclature

\dot{Q}_f	La capacité frigorifique	kW
\dot{Q}_c	Puissance du condenseur	kW
\dot{W}	Puissance du compresseur	kW
h	l'enthalpie	kJ/kg
\dot{m}	Le débit massique	kg/s

Abréviations :

TSV	temps solaire vrai
TSM	temps solaire moyen
TU	le temps universel
TL	le temps légal
HR	humidité relative
DPC	durée pratique de conservation
COP	coefficient de performance
HP	haut pression
BP	base pression

Chapitre I :

Figure I.1 : le mouvement de la terre autour du soleil	4
Figure I.2 : coordonnées géographiques	5
Figure I.3 : coordonnées horaires	6
Figure I.4 : coordonnées horizontales	7
Figure I.5 : les composants du rayonnement solaire	10
Figure I.6 : Carte de l'Algérie de l'ensoleillement moyen annuel	11
Figure I.7 : les zones climatiques de l'Algérie	15
Figure I.8 : températures et précipitations moyennes à Hassi Messaoud	16
Figure I.9 : Données climatiques de Hassi Messaoud	16

Chapitre II :

Figure II.1 : Structure du sol d'une chambre froide négative	25
Figure II.2 : Composition de la paroi d'une chambre froide traditionnelle	29
Figure II.3 : Compresseur hermétique	31
Figure II.4 : Condenseur à air	33
Figure II.5 : Détendeur capillaire	33
Figure II.6 : Évaporateur à air	34
Figure II.7 : Le réservoir de liquide	36
Figure II.8 : La bouteille anti-coups de liquide	36
Figure II.9 : Le séparateur d'huile	37
Figure II.10 : Les pompes	38
Figure II.11 : Les ventilateurs (centrifuge et axial)	38
Figure II.12 : Filtre déshydrateur	39
Figure II.13 : Voyant liquide	40
Figure II.14 : Éliminateur de vibrations	40
Figure II.15 : Les électrovannes	41

Chapitre III :

Figure III.1 : Les plans 3D et 2D: 53

Figure III.1 : L'influence de température sur les apports calorifiques: 67

Chapitre IV:

Figure IV.1 : Cycle de Carnot de production de froid : 68

Figure IV.2 : Diagramme enthalpique de cycle frigorifique : 69

Figure IV.3 : Fonctionnement du circuit frigorifique : 70

Figure IV.4 : Diagramme enthalpique de chambre 1 : 71

Figure IV.5 : Le diagramme enthalpique de la chambre 2 : 73

Figure IV.6 : Le diagramme enthalpique de la chambre 3 : 75

Figure IV.7 : Le diagramme enthalpique de la chambre 4 : 76

Figure IV.8 : Changement de Q_c en fonction de température : 77

Figure IV.9 : Changement de P en fonction de la température : 78

Figure IV.10 : Changement du COP en fonction de température : 79

Chapitre I

Tableau I.1 : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques 11

Chapitre II

Tableau II.1 : conditions de conservation des produits réfrigérés pour produits non ou très peu sensibles au froid 20

Tableau II.2 : conditions de conservation des produits réfrigérés pour produits très sensibles et moyennement sensibles au froid 22

Tableau II.3 : coefficients de convections extérieure et intérieure 25

Tableau II.4 : coefficients de conductibilité thermique des matériaux utilisés pour les murs des chambres froides traditionnelles 26

Tableau II.5 : coefficients de conductibilité thermique des isolants utilisés pour les murs des chambres froides traditionnelles 28

Tableau II.6 : Avantages et inconvénients des condenseurs à eau : 32

Chapitre III

Tableau III.1 : Charge thermique Q_{tr} pour la chambre 1 53

Tableau III.2 : Charge thermique Q_{tr} pour la chambre 2 53

Tableau III.3 : Charge thermique Q_{tr} pour la chambre 3 54

Tableau III.4 : Charge thermique Q_{tr} pour la chambre 4 54

Tableau III.5 : Les charges thermiques des quatre chambres et la charge totale de chaque chambre 67

Tableau III.6 : L'influence de température externe sur les charges thermiques 67

Résumé

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

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

Dans notre travail on a choisis un groupe de chambres froides dans le site de Hassi-Messaoud (le sud algérien) et on a fait les calculs sur les différents paramètres de l'installation ces chambres, aussi on a vu l'influence du changement de températures externes sur les différents paramètres.

Les résultats donnent une approche sur l'installation de chambre froide avec de normes respectées sur le domaine.

Resume

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

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

In our work, we chose a group of cold rooms in the site of Hassi- Messaoud (south Algeria) and we made the calculations on the various parameters of the installation of these rooms, also we saw the influence of the change of external temperatures on the various parameters.

The results give an approach on cold room installation with respected standards on the field.

ملخص

في مجال الأغذية، يحتل التبريد مكاناً كبيراً أو مهماً لأنه يسمح بالحفاظ على الغذاء والسلع المختلفة وإطالة مدة حفظها.

للقيام بذلك، نستخدم عادةً غرف التبريد أو مخازن التبريد.

في عملنا اخترنا مجموعة من الغرف الباردة الواقعة بحاسي مسعود (جنوب الجزائر) وقمنا بإجراء الحسابات على الخصائص المختلفة لتركيبة هذه الغرف، كما رأينا تأثير تغيير درجات الحرارة الخارجية على مختلف المعايير.

النتائج تعطي نهجاً في تركيب غرفة باردة مع معايير محترمة في هذا المجال.

Introduction générale

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 peuvent être altérés et détruits par la chaleur. [17]

Le froid trouve de nombreuses applications dans des domaines très variées (industrie Agroalimentaires, médecine, confort thermique, pétrochimie...) et c'est dans le domaine Alimentaire que le froid occupe une place prépondérante car il permet de limiter les gaspillages (Pertes après récolte...) et de prolonger la durée de conservation des produits ce qui permet un élargissement des échanges.

Dans le domaine agro-alimentaire les denrées entreposées représentent un capital assez considérable. [21]

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 du sperme destiné à l'insémination artificielle ou encore la conservation des sérums et des vaccins destinés à enrayer Les épidémies frappant les animaux.

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

Introduction générale

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

Dans les pays chauds et humides, une température de l'ordre de $+10^{\circ}\text{C}$ permet une bonne conservation du poisson fumé, du lait concentré ou en poudre, des conserves de viandes...ce qui Montre une bonne complémentarité entre le froid et les autres techniques de conservations (Séchage...).

Il faut retenir que l'alimentation d'une population mondiale sans cesse croissante exige que des efforts réalisés pour accroître les productions alimentaires soient accompagnés d'initiatives Destinées à réduire sinon à éliminer les pertes qui autrement resteraient considérables à toutes les Étapes de la distribution et de la transformation des aliments.

Dans notre mémoire on a choisis un groupe des chambres froides que se situé au sud algérien pour faire l'étude de celles-ci basé sur notre stage durée de 25/03 jusqu'au 04/04/2018 .

Dans le premier chapitre on a vu le gisement solaire de l'Algérie en générale et aussi déterminé notre site et ses caractéristiques climatiques.

Et dans le deuxième chapitre on a vue tous ceux qui concerne les chambres froides et leurs appareilles et les fluides frigorigènes.

Dans le troisième chapitre on a vu le bilan thermique des chambres froides et les différents apports thermiques et on a fait nos calculs.

Après le calculs de bilan on a déterminé les paramètres énergétiques des chambres froides comme le C.O.P et la puissance de compresseur ainsi que l'apport de condenseur dans le quatrième chapitre, et on termine par une conclusion générale.

Chapitre I

Les données solaires

I.1.INTRODUCTION :

Aujourd'hui, plus de 85% d'énergie utilisée dans le monde provient de gisements de combustible fossile (charbon, pétrole, gaz) ou d'uranium, constitués au fil des âges et de l'évolution géologique.

L'Algérie avec sa situation géographique, occupe une position privilégiée dans l'exploitation d'énergie solaire avec une durée d'ensoleillement qui varie de 2650 heures /an dans le nord à 3500 heures/an dans le sud, l'une des plus élevées au monde.

Elle reçoit le maximum d'énergie lors du solstice d'été (21 ou 22 juin) et le minimum lors du solstice d'hiver (21 ou 22 décembre). [2]

Notre objective de ce chapitre est la connaissance des coordonnées solaires pour choisir la position optimale de l'installation d'une chambre froide dans le site de Hassi-Meassoud (Ouargla).

I.2.LE SOLEIL :

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1391000 km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de 2.1027 tonnes.

Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermo – nucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564,106 tonnes d'hydrogène en 560,106 tonnes d'hélium, la différence (4 millions de tonnes) est dissipée sous forme d'énergie ($E=mc^2$), ce qui représente une énergie totale de 36.1022 KW. La terre étant à une distance de 150.106 km du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de 1,8.1014 KW. [3]

I.2.1. La constante solaire :

La valeur du rayonnement solaire " I_c ", reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne " I_0 " appelée constante solaire est de l'ordre de $1354 W.m^{-2}$. En première approximation, on peut calculer la valeur de " I_c " en fonction du numéro du jour de l'année " n_j " par la relation suivante [3]:

$$I_c = I_0[1 + 0.033 \times \cos(0.984 \times n_j)] \quad (I.1)$$

I.2.2. Le mouvement de la terre :

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique.

L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/ Soleil ne varie que de $\pm 1,7 \%$ par rapport à la distance moyenne qui est de $149\,675\,106\text{ km}$, la terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles et passant par le centre de la terre appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique en fait l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison de l'ordre de $23^{\circ}27'$. [3]

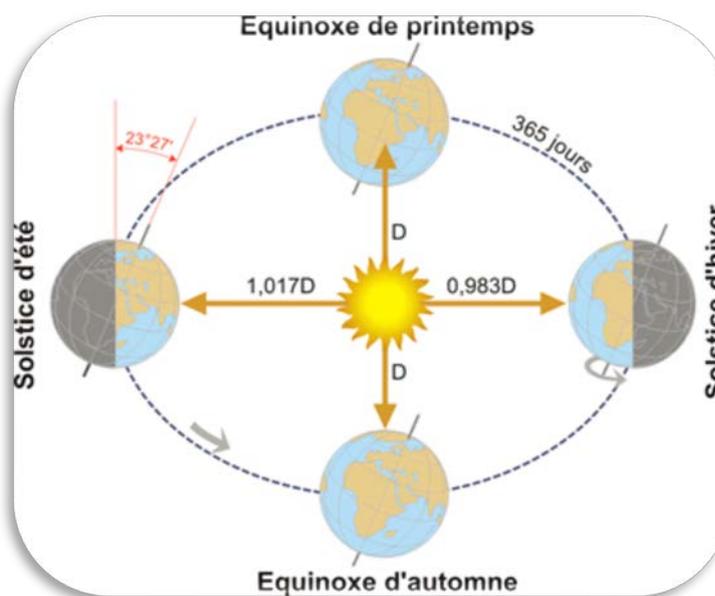


Figure.1 : le mouvement de la terre autour du soleil [4]

I. 3. Les coordonnées célestes :

I. 3.1. Les coordonnées géographiques :

Pour repérer un site donné à la surface terrestre, on définit les grandeurs suivantes :

I.3.1.1. La latitude ' φ ' :

Est l'angle que fait la verticale du lieu avec le plan équatorial. Elle varie entre $(0^{\circ}$ et $+ 90^{\circ})$ au pôle Nord (l'hémisphère nord) et $(0^{\circ}$ et $- 90^{\circ})$ au pôle Sud (l'hémisphère sud).

I.3.1.2. La longitude 'L' :

Est l'angle formé par le méridien de Greenwich et le méridien du lieu considéré. La longitude est comprise entre -180° (vers l'ouest) et $+180^\circ$ (vers l'est).

Comme la terre met 24 heures pour faire un tour sur elle-même (360°), chaque heure représente 15° d'écart de longitude et donc, chaque degré de longitude représente 4 minutes.

I.3.1.3. L'altitude :

C'est l'altitude d'un point correspondant à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (le niveau de la mer = 0), elle est exprimée en mètre [3].

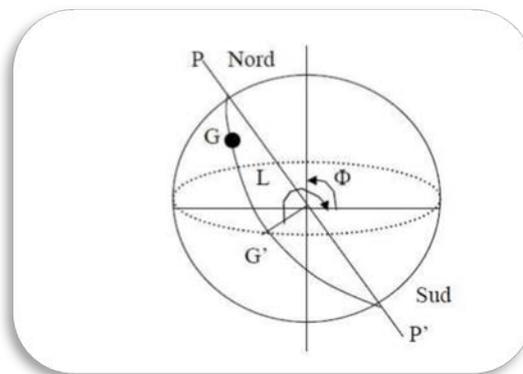


Figure.2 : coordonnées géographiques [3]

I.3.2. Les coordonnées horaires :

Le système de coordonnées horaires est un système de coordonnées céleste intermédiaire entre le système de coordonnées horizontales et le système de coordonnées équatoriales comme le montre la figure 3.

I.3.2.1. La déclinaison 'δ' :

Est un angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes, ($- 23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$) comme la relation suivante montre :

$$\delta = 23,45 \sin \left(\frac{360}{365} \times (nj + 284) \right) \quad (\text{I.2})$$

I.3.2.2. L'angle horaire 'ω' :

Est l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu (méridien) il définit le vrai temps solaire

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (I.3)$$

Si $\omega < 0$, la matinée.

Si $\omega > 0$, l'après-midi.

Où TSV est le temps Solaire Vrai, et ω est nulle à midi solaire, car la période de la terre dans sa rotation sur elle-même est égale à 24h. Elle est négative le matin, positive dans l'après-midi et augmente de 15° par heure. [5]

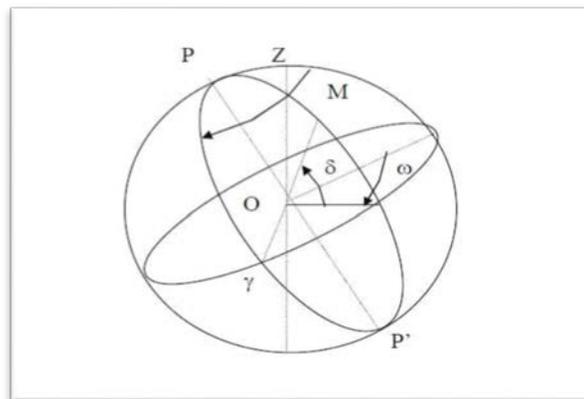


Figure.3 : coordonnées horaires [3]

I.3.3. Les coordonnées horizontales :

Le système de coordonnées horizontales, également appelé système local ou système de coordonnées azimutales, est un système de coordonnées célestes utilisé en astronomie par un observateur au sol. Le système sépare le ciel en deux hémisphères ; l'un situé au-dessus de l'observateur et l'autre situé au-dessous, caché par le sol. Le grand cercle séparant les deux hémisphères situe le plan horizontal, à partir duquel est établi une altitude et un azimut, qui constituent les deux principales coordonnées de ce système, le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de ces deux angles : [5]

I.3.3.1. L'angle de la hauteur du soleil 'h' :

Est l'angle compris entre la direction du soleil et le plan horizontal varie de 0 à 90 vers le zénith et de 0° vers -90° vers le nadir. L'angle de la hauteur solaire est donné par :

$$\sin(h) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (I.4)$$

φ : Latitude du lieu.

δ : La déclinaison du soleil.

ω : L'angle horaire.

I.3.3.2.L'azimut ' α ' :

Est l'angle entre le plan vertical contenant le rayon solaire et la direction sud. Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(\alpha) = \cos(\delta) \sin(\omega) / \cos(h)$$

(I.5)

L'azimut solaire est négatif le matin (direction Est), nul ou égal à 180° à midi et positif l'après-midi (direction Ouest), sur tout le globe. Il diffère de l'azimut géographique, lequel est toujours mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du Nord, indépendamment de l'hémisphère du point d'observation. La distance zénithale est l'angle entre la direction du soleil et la verticale du lieu (zénith). L'angle z est complémentaire de l'angle de la hauteur du soleil h . [5].

$$z = \pi/2 - h$$

(I.6)

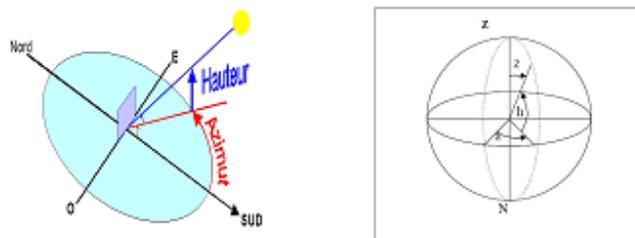


Figure.4 : coordonnées horizontales [3]

I.4.Les temps solaires :

I.4.1. Le Temps Solaire Vrai (T.S.V) :

Le temps solaire vrai, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil w .

Il est donné sous la forme suivante : [3]

$$TSV = 12 + \omega/15$$

(I.7)

ω : En degré.

Si $\omega = 0$, TSV=12h.00

Si $\omega < 0$, la matinée.

Si $\omega > 0$, l'après-midi.

I.4.2. Le Temps Solaire Moyen (T.S.M) :

Il est appelé parfois temps locale (TSM), Il est donné par la relation :

$$Et = TSV - TSM$$

(I.8)

Avec :

Et : l'équation du temps, qui corrige le T.S.V par rapport au T.S.M.

$$Et = 9.87 \sin (2N') - 7.53 \cos (N') - 1.5 \sin (N') [min]$$

(I.9)

$$\text{Où : } N' = (nj - 81) \cdot 360/365$$

Où : nj est le numéro du jour dans l'année.

I.4.3. Le Temps Universel (T.U) : C'est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine) appelé encore GMT (Greenwich Mean Time) [3]

$$TU = TSM - (L/15)$$

(I.10)

Où : L : est la longitude.

$L > 0$; pour les villes situées à l'Est de Greenwich.

$L < 0$; pour les villes situées à l'Ouest de Greenwich.

$TU = TSM$; pour le méridien de Greenwich.

I.4.4. Le Temps Légal (T.L) :

C'est le temps officiel d'un état, il est donné par :

$$TL = TU + \Delta H$$

(I.11)

Où :

ΔH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.

$\Delta H = 1$ heure pour l'Algérie.

I.5.ENERGIE SOLAIRE :

La distance de la terre au soleil est environ 150 millions de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 km/h, les rayons du soleil mettent donc environ 8 minutes à nous parvenir. La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil. Sa valeur est communément prise égale à 1360W/m². Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/ m² à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein a découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon était donnée par la relation :

$$E = h \cdot c / \lambda$$

(I.12)

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variante de 0,22 à 10 micromètres (μm). L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

-9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4\mu\text{m}$)

-47% dans la bande visible (0,4 à 0,8 μm).

-44% dans la bande des infrarouges ($>0,8\mu\text{m}$). [6]

I.5.1. Rayonnement solaire :

I.5.1.1. Le rayonnement direct : est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres et peut-être concentrés par des miroirs. Il peut être mesuré par un pyréliomètre.

I.5.1.2. Le rayonnement diffus : est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosol). La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partants dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont à la fois les

molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières qui produisent ce (éclatement) des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques.

I.5.1.3. Le rayonnement solaire réfléchi : ou l'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

I.5.1.4 Le rayonnement global : est la somme de tous les rayonnements reçue, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyranomètre ou un solarimètre sans écran.

Les stations météorologiques généralement mesurer le rayonnement global horizontal par un Pyromètre placé horizontalement à l'endroit requis. [7]

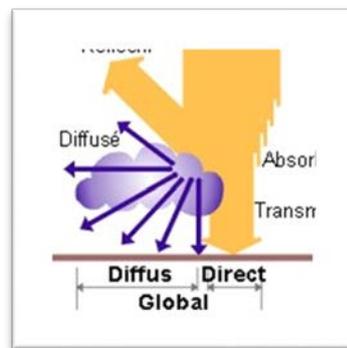


Figure.5 : les composants du rayonnement solaire [3]

I.5.2. Le gisement solaire en Algérie :

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure I.6 :

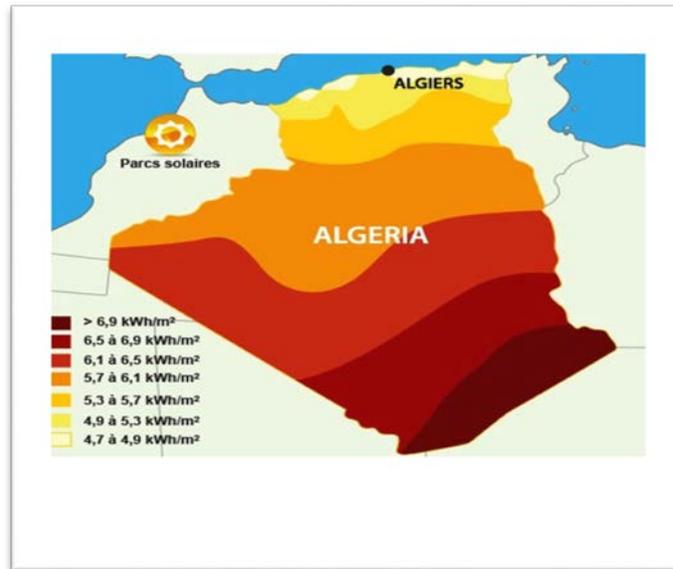


Figure.6 : Carte de l'Algérie de l'ensoleillement moyen annuel [18]

Suite à une évaluation par satellite, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. [3]

La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.5 selon l'ensoleillement reçu annuellement :

Régions	Région côtières	Haute plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau.1 : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques [3]

I.6.LE CLIMAT :

I.6.1.DEFINITION :

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, pression atmosphérique, vent, précipitation) qui caractérise l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné, il dépend :

1. de la latitude du lieu
2. de sa circulation atmosphérique
3. des conditions de l'environnement

Les climats dans le globe terrestre ont été classifiés selon plusieurs méthodes. Entre autres celle reposant sur les considérations du confort thermique de l'homme, et qui réduit les climats de base à quatre :

- Climats arides, chauds et humides
- Climat méditerranéen
- Climat tempéré
- Climat froid

I.6.2.CLIMAT DE LA PLANETE :

Au niveau global, les climats sont formés par l'apport d'énergie (chaleur) solaire différentiel et l'émission de chaleur presque uniforme sur toute la surface de la terre. Les régions équatoriales reçoivent un apport d'énergie beaucoup plus que dans les zones plus proches des pôles. Cet écart est la principale force motrice des phénomènes atmosphériques (vents, formations et mouvements nuageuses, etc.), qui fournissent un mécanisme de transfert de chaleur à partir de l'équateur vers les pôles.

I.6.3.L'EFFET DE SERRE :

Est un phénomène naturel important pour la survie de la planète. Il permet d'avoir une température moyenne sur terre de 15°C contre (-18°C) si cet effet n'existait pas. Les gaz à effet de serre sont naturellement peu abondants dans l'atmosphère mais du fait de l'activité humaine, la concentration de ces gaz s'est sensiblement modifiée (la concentration de CO₂ a augmenté de 30% depuis une centaine d'années). [4]

I.6.4.LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES :

Désigne une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longues périodes. Les changements climatiques peuvent être attribués aux activités humaines altérant la composition de l'atmosphère, et à des causes naturelles.

I.6.5.ELEMENTS DES CLIMATS :

L'ensemble des facteurs climatiques à considérer peuvent être classés en trois différentes catégories :

- **Les facteurs énergétiques :** rayonnement solaire, lumière et température
- **Les facteurs hydrologiques :** précipitations et hygrométrie
- **Les facteurs mécaniques :** mouvement d'air soit les vents

Les facteurs principaux qui interviennent directement dans l'étude d'un climat sont essentiellement :

- La température de l'air mesurée en °C à l'ombre d'une hauteur de 1.2 & 1.8m.
- L'humidité (en % de saturation de l'air en eau)
- Les radiations solaires (en watts /m²)
- Le mouvement de l'air soit le vent (mesure en m/s)
- Les précipitations (mesurées en mm)
- La nébulosité (nuages) (mesure en Octets)

I.6.6.CLASSIFICATION DES CLIMATS :

Parmi les différents climats dans le monde, quatre peuvent être classés comme principaux :

- ✓ **Climat froid :** avec un problème de température inconfortablement basse.
- ✓ **Climat modéré :** avec un problème de dissipation inadéquate de chaleur, soit une surchauffe ou un refroidissement.
- ✓ **Climat chaud et sec (désertique) :** problème de surchauffe.
- ✓ **Climat chaud et humide :** problème de surchauffe aggravé par l'humidité car le phénomène de rafraîchissement par évaporation est limité. [4]

I.7.LE CLIMAT EN ALGERIE :

L'Algérie se situe sous un climat de transition, entre la zone tempérée et la zone tropicale, cette position la met sous l'influence directe du climat méditerranéen au Nord et du climat désertique au Sud.

Le rythme saisonnier est simple :

- En été, l'Algérie est soumise à l'influence des hautes pressions subtropicales qui, eu égard à sa latitude, donne des temps très chauds, très secs et tempérés, mais seulement, aux bords de mer

- En hiver, le retrait des hautes pressions vers des latitudes plus basses livre la région à la circulation zonale d'Ouest : le temps est plus frais et plus humide.

Cette circulation d'Ouest envahit le bassin méditerranéen, mais, en réalité, seules quelques perturbations atlantiques arrivent jusqu'au bassin méditerranéen, à cause des reliefs qui entravent l'écoulement de l'air. Les deux tiers des perturbations activant dans la région sont d'origine locale.

Elles sont dues à des circulations d'air polaire froid qui atteignent la Méditerranée et y provoquent, au contact de ses eaux chaudes, une cyclogenèse active. Cet air froid qui touche le bassin méditerranéen progresse lentement vers le sud en saison froide. Ainsi, s'expliquent la diminution progressive des pluies vers le sud et l'allongement de la saison sèche [8].

Le régime des vents est peu uniforme, il varie d'une région à une autre et contribue à accroître l'évaporation, déjà, très vive. Si l'hiver, saison humide, le nord de l'Algérie a un bilan hydrique, généralement, favorable. En été, le déficit est total, il est, souvent, nécessaire de recourir à l'irrigation pour les cultures de printemps et d'été

Comme nous le voyons, la région du nord-est algérien subit, directement, l'influence du climat méditerranéen.

- Au nord, les précipitations diminuent du nord au sud et d'est en ouest. Sur la bande littorale, le climat est tempéré, avec des hivers pluvieux ou très pluvieux, avec des moyennes pluviométriques annuelles pouvant atteindre plus de 1500 mm dans la région de Jijel et Bejaia. Cette variation dans le nord dépend de la latitude, de l'altitude, de la continentalité et du relief. En outre, une dissymétrie très nette existe entre les versants, ceux qui sont exposés au nord sont les mieux arrosés et ceux qui le sont au sud sont les plus secs.

La moyenne des températures varie entre 8°C et 15°C en hiver et, en moyenne, 25°C en juillet et août (26,5°C à Annaba, 26°C à Bejaia). En été, le sirocco, vent sec et chaud (baptisé le Chehili localement), souffle du Sahara en direction du nord durant la saison estivale, amenant des nuages de poussières et de sable vers les régions côtières.

- Le climat dans la région de l'Atlas tellien est aussi tempéré, mais plus froid à cause de l'altitude. Il est caractérisé par des précipitations plus importantes. [8]

- Le climat des Hauts Plateaux est semi-aride. La température avoisine les 5°C voire -7°C en hiver et les chutes de neige y sont fréquentes. La température estivale varie de 30°C à 38°C (Constantine 36°C) avec des précipitations faibles et irrégulières, de 200 à 400 mm par an.
- Le Désert du Sahara est aride, avec des précipitations annuelles extrêmement faibles (moins de 100 mm par an). Les températures varient de 15 à 28°C en hiver, pour atteindre 40 à 45°C, voire plus en été. [8]

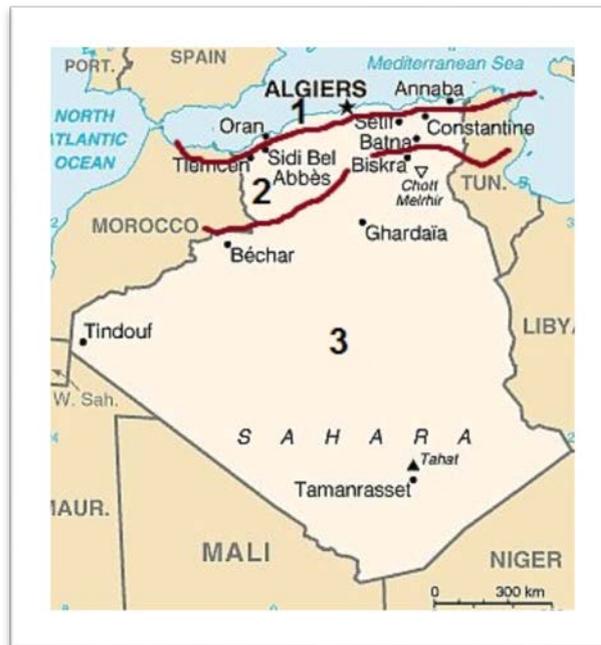


Figure.7 : les zones climatiques de l'Algérie [9]

I.7.2. Données climatiques du Hassi Messaoud :

Sachant que notre étude a été désirée au sud algérien, on a choisi la ville de Hassi Messaoud comme un site.

La saison très chaude dure 3 à 4 mois , du 2 juin au 15 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 37 °C, le jour le plus chaud de l'année est le 17 juillet , avec une température moyenne maximale de 42 °C , et minimale de 28 °C . [19]

Notre site a les coordonnées suivantes :

- ✚ Latitude : 31°42 00 Nord
- ✚ Longitude : 60°04 22 Est
- ✚ L'altitude par rapport au niveau de la mer : 152 m

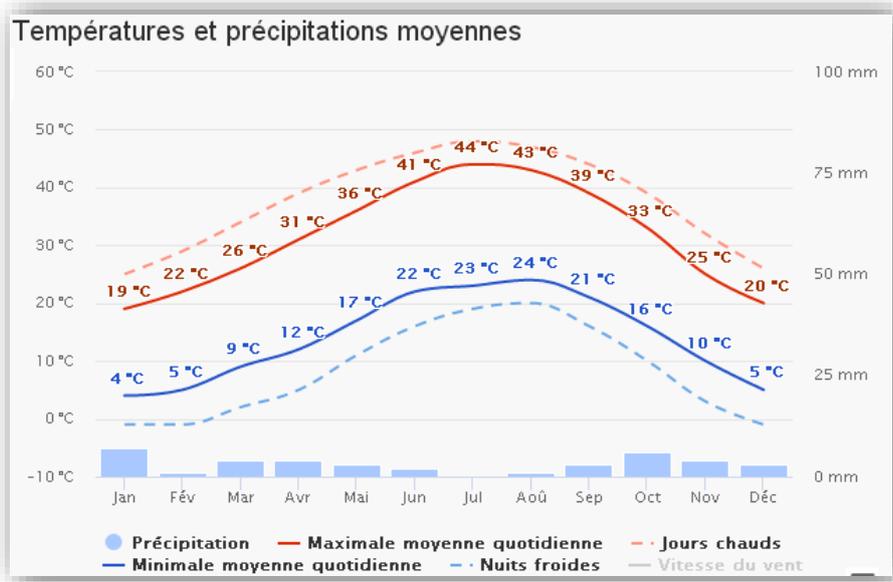


Figure I.8 : températures et précipitations moyennes à hassi messaoud

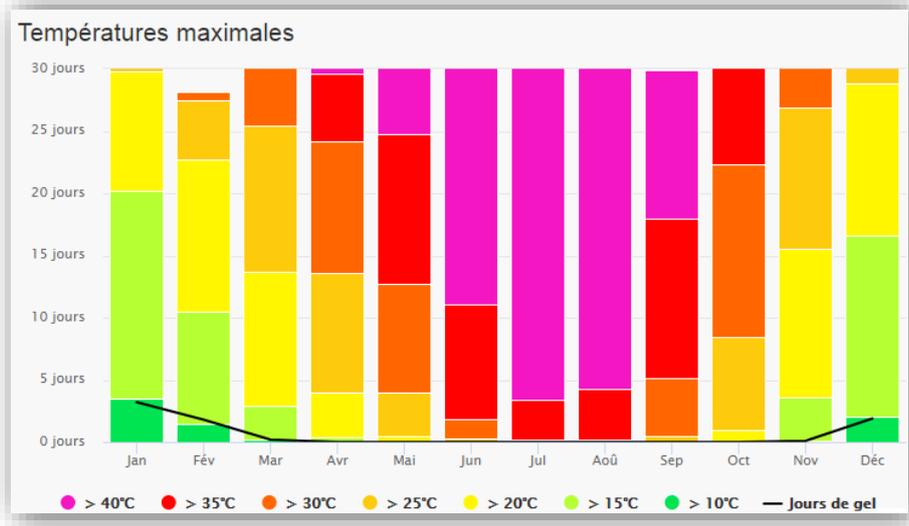


Figure I.9 : donnes climatiques du Hassi Messaoud [10]

À la base de ces données nous choisissons la température de journée (45°C) pour faire notre étude.

Chapitre II

Les chambres froides

II.1.Historique :

Aujourd'hui, la réfrigération fait partie de notre quotidien. Que ce soit pour conserver nos aliments ou nous rafraîchir en été. Les Chinois furent les premiers à s'apercevoir que la glace rendait leurs boissons plus savoureuses en les refroidissant. À l'époque des Grecs et des Romains, des esclaves étaient chargés de transporter la glace des sommets des montagnes. Cette glace était conservée dans des silos aux parois recouvertes de paille en vue d'une utilisation ultérieure.

Au XVIème siècle, cette technique de conservation des aliments était devenue courante en France et en Europe. En 1612, Francis Bacon fut le premier à utiliser la neige pour conserver les denrées alimentaires.

Après avoir constaté que les aliments se conservaient mieux en hiver, l'Homme a longtemps cherché à reproduire les températures hivernales afin de préserver ses denrées même en été. C'est comme cela qu'au fil des siècles, les Hommes furent amenés à créer de la glace et du froid artificiel.

Il aura fallu attendre la découverte du microscope pour s'apercevoir que les températures inférieures à 10°C ne tuaient pas les microbes mais empêchaient leur développement. Ce fut alors évident que conserver les denrées alimentaires en utilisant du froid était beaucoup plus intéressant que d'utiliser des méthodes ancestrales comme le séchage, le fumage ou le salage.

C'est en 1862 lors de l'exposition universelle que Ferdinand Carré fit découvrir au monde entier sa machine produisant d'énormes blocs de glace. Sa machine suscita l'étonnement général du public du fait qu'elle produisait de la glace grâce à la chaleur. La première machine à absorption était alors destinée à un usage industriel. Un modèle portatif permettait à l'époque d'améliorer le confort quotidien de ses contemporains. Le frère de Ferdinand, Edmond Carré, conçut un appareil offrant la possibilité de rafraîchir les carafes d'eau ou de vin.

La première armoire conservatrice fût inventée par Charles Tellier. Pour démontrer l'efficacité de son procédé de réfrigération devant les membres de l'Académie des Sciences, il fit partir de France un navire, nommé le Frigorifique, rempli de carcasses de

viande et de volailles vers l'Amérique du Sud. Une fois le voyage retour achevé, tout le monde pu constater que la cargaison était intacte. Cette expérience fut reproduite deux ans plus tard avec un chargement de 80 tonnes de viandes congelées à -30°. Les chambres froides étaient alimentées grâce à des machines frigorifiques à absorption. [11]

II.2.Introduction :

Des estimations ont montrées que dans certaines régions du monde, la moitié des denrées alimentaires disponibles est perdue entre le moment de la production et celui de la consommation.

Les agents destructeurs les plus importants sont les rongeurs, les insectes, les microorganismes (champignons et bactéries) et l'homme par des manipulations inadéquates (par méconnaissance ou négligence) qui place les produits dans des endroits favorisant diverses altérations. L'entreposage frigorifique est une technique de conservation des denrées ou des aliments permettant leur consommation ultérieure.

On distingue deux grands groupes d'aliments suivant leur origine :

- Les produits d'origine végétale
- Les produits d'origine animale

Les premiers sont des produits vivants (avant et même pendant la période d'entreposage) tandis que les seconds sont des produits qui sont tués préalablement à leur utilisation. Ils sont tous périssables et présentent une grande diversité aussi bien au niveau de leurs propriétés physique que de leurs compositions chimiques. Ils contiennent en générale tous de l'eau, des glucides, des protéines, des sels minéraux et des vitamines. L'eau est en générale le constituant majeur et est le principal facteur de l'altérabilité des produits.

Il existe des techniques de préservation des aliments bases spécifiquement sur l'abaissement de l'activité de l'eau telles que le séchage, le salage et le confisage qui ne font pas l'objet de ce projet qui traite de la préservation par abaissement de la température. [12]

II.3.Chaîne du 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 ».

II.4.La réfrigération :

La réfrigération consiste au maintien artificiel en dessous de la température ambiante à une température optimum pour sa conservation et ce au dessus de son point de congélation (température supérieure à la température de congélation commerciale ou température cryoscopique). Pratiquement la température minimale en réfrigération est de 0°C.

La durée de conservation est toujours limitée, elle est fonction de la nature du produit et de la température à laquelle elle est conservée.

Une température basse augmente la durée de conservation mais le déséquilibre des réactions biochimiques (différence de ralentissement des activités métaboliques) qui sont responsables de la vie peut entraîner des véritables maladies conduisant à la mort des organes : ce sont les maladies du froid. [12]

Les conditions de conservation de ces produits sont données par groupes d'aliments en fonction de leur sensibilité au froid

Produits animaux				légumes						
	°C	HR%	D.P.C		°C	HR%	D.P.C		°C	HR%
abats	-1.5 a 0	85-95	7 jours	ail	0	65-70	6-7m	abricot	0	90
agneau	-1.5 a 0	85-95	3-4s	carotte	0	95	2-3s	cerise	0	90-95
beurre	0 à 4		2-4s	céleri	0	95	4-12j	citron	0 à 4.5	85-90
bœuf	-1.5 a 0	85-95	3-5s	champignon	0	90-95	5-7j	datte	0	85
crème	-2 a 0		15 j	chou	0	95	1-3m	fraise	0	90-95
crustacés	0		4 -6j	Chou-fleur	0	95	2-3s	framboise	0	90-95
fromage	5		1-2s	épinard	0	95	1-2s	Noix de coco	0	80-90
Lait cru	0 à 4		2j	laitue	0	95	1-2s	orange	0 à 4	85-90
Lait pasteurisé	4 a 6		7j	Mais doux	0	95	1s	pêche	0	90
Ouf (coquilles)	-1 a 0	90	6-7m	navet	0	95	4-5m	poire	0	90-95
poisson	0		6-14j	Oignon (sec)	0	65-70	6-8m	pomme	0 à 4	90-95
porc	-1.5 a 0	85-95	3s	poireau	0	95	1-3m	prune	0	90-95
veau	-1.5 a 0	85-95	3s	Pomme de terre	2 a 3	90-95	5-8m	raisin	-1 a 0	90-95
Viande hachée	4	85-95	1j	radis	0	90-95	1-2s			
Volaille éviscérées	-1 a 0	85-95	1-2s							
Volaille non evisc	0	60-70	3s							
yoghourt	2a 5		2-3s							

Tableau II.1 : conditions de conservation des produits réfrigérés pour produits non ou très peu sensibles au froid [12]

Produits très sensible au froid				Produit moyennement sensible au froid			
	°C	HR%	D.P.C		°C	HR%	D.P.C
Fruits				Fruits			
Ananas (vert)	10 à 13	85-90	2-4 s	Mandarine	4 à 6		4-6 s
Ananas (mur)	7 à 8	90	2-4 s	Mangoustan	4 à 5.5	85-90	6-7 s
Banane (verte)	12 à 13	85-90	10-20 j	Pastèque	5 à 10	85-90	2-3 s
Citron (vert)	10 à 14	85-90	1-4 m	Légumes			
Goyave	8 à 10	90	2-3 s	Haricot vert	7 à 8	92-95	1-2 s
Mangue	7 à 12	90	3-7 s	Pomme de terre (consom.)	4 à 6	90-95	4-8 m
Melon	7 à 10	85-90	1-12 s	Pomme de terre (industrie)	7 à 10	90-95	2-5 m
Pamplemousse	10	85-90	2-3 m				
Papaye	7 à 10	1-3 s					
Legumes							
Aubergines	7 à 10	90-95	10 j				
Concombre	9 à 12	95	1-2 s				
Cornichon	13	90-95	5-8 j				
Gingembre	13	90-95	6 m				
Gombo	7.5 à 10	90-95	1-2 s				
Igname	16	85-90	3-5 m				
Patatedouce	13 à 16	85-90	4-7 m				
Poivron doux	7 à 10	90-95	1-3 s				
Tomate (verte)	12 à 13	85-90	1-2 s				
Tomate (mure)	8 à 10	85-90	1 s				
Fromages							
Hollande	12 à 15	85					
Emmenthal	10 à 12	80					
Gruyère de Comté	10 à 12	80-85					

Tableau II.2 : conditions de conservation des produits réfrigérés pour produits très sensibles et moyennement sensibles au froid

HR : Humidité relative

D.P.C. : Durée pratique de conservation

j: jour ; s : semaine ; m : mois

NB : Les conditions de conservations peuvent varier pour un même produit suivant sa classe et selon son origine et sa variété.

II.5.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 températures de conservation des produits congelés sont comprises entre -10 et -30 °C et la durée de conservation est fonction de la température de stockage et de la nature des denrées.

En mode congélation, les enzymes ne sont pas détruites mais la majorité des réactions enzymatiques est annulée. Les caractéristiques organoleptiques évoluent lentement à cause de l'activité de certaines enzymes.

Les microorganismes ne sont pas tués mais le développement des germes bactériens est arrêté au-dessous de -10°C et celui des moisissures (germes fongiques) à partir de -18°C.

Les parasites tels que les larves de ténia, de mouches et d'acariens sont tués après un certain temps à basse température (2 semaines à -30°C ou 1 mois à -15°C pour les ténias). [12]

II.6.La surgélation :

La surgélation, encore appelée congélation rapide, consiste à soumettre une denrée à l'action du froid à basse température de façon à provoquer rapidement la cristallisation de l'eau (plage de -1°C à -5°C) de la denrée et à abaisser sa température à une valeur suffisamment faible pour que la proportion d'eau non congelée soit très faible. La température recherchée est de l'ordre de -18°C à -20°C.

Un des procédés utilisés en surgélation est le tunnel de congélation. Ce procédé consiste à disposer la denrée dans un courant d'air maintenu aux environs de -30°C à -40°C et à une vitesse de l'ordre de 3m/s. Les produits surgelés sont généralement protégés par un emballage spécial approprié au produit et aux conditions d'utilisation et le produit est destiné dans la plupart des cas à la vente en l'état au consommateur. [12]

II.7.Les chambres froides :

II.7.1.Définition :

Une chambre froide est un local servant à conserver à basse température des aliments, échantillons, etc. selon usage. Une chambre froide est aussi un local servant à traiter à basse température des meubles en bois, livres, objets d'art, etc. pour supprimer les insectes xylophages. [13]

II.7.2.Classification des chambres froides :

Les entrepôts frigorifiques (ou complexe de chambres froides) peuvent être classés suivant différents critères tels que la nature du trafic, la forme juridique et la fonction.

Suivant la température à l'intérieure de la chambre, on distingue 2 catégories d'entrepôts frigorifiques :

- les chambres froides négatives dans lesquelles la température est maintenue en dessous de 0°C , la plage de température de ces chambres se situe entre -40 et 0°C .
- les chambres froides positives dans lesquelles la température est supérieure à 0°C , la plage de température de ces chambres se situe entre $+1$ et 12°C .

Suivant le mode de construction de la chambre froide, on distingue :

- les chambres froides traditionnelles avec une construction en maçonnerie avec isolant (généralement du polystyrène)
- les chambres froides à panneaux préfabriqués (ou panneaux sandwich, généralement à âme de polyuréthane) qui sont montés sur des ossatures en acier ou en béton. [12]

II.7.3. Dispositions constructives des entrepôts frigorifiques :**II.7.3.1. Plancher :**

Le plancher des chambres froides doit être dimensionné pour supporter la charge des denrées entreposées d'une part et celle occasionnée par la manutention d'autre part.

Les charges statiques généralement adoptées sont de 4 tonnes / m² (ou 3 tonnes / m²).

Pour les charges roulantes (chariots élévateurs par exemple), il est admis une charge de 1 tonne par roue. Dans la pratique, il est souvent adopté 5 tonnes / m². [12]

II.7.3.2. Sol :

La congélation du sol des chambres froides (surtout les chambres négatives) peut entraîner des soulèvements du sol (surtout sur les terrains mal drainés à structure argileuse fine) si certaines dispositions ne sont pas prises.

Les solutions adoptées sont :

La mise en œuvre d'un vide sanitaire d'au moins 60 cm de hauteur (pour les petites surfaces)

La mise en œuvre de résistances électriques ou de circulation d'eau glycolée réchauffée dans un échangeur alimenté par l'eau de refroidissement du condenseur par exemple (pour les grandes surfaces)

Pour le chauffage électrique, il est adopté une puissance d'installation des résistances de 10W/m².

Pour le chauffage avec de l'eau glycolée, il est mis en œuvre un réseau encastré de 2 à 3 cm dans le béton de fondation.

Le chauffage des sols des chambres froides doit être associé à un dispositif de sécurité par thermostat de sol.

Une disposition généralement admise pour le sol des chambres froides négatives est la mise en œuvre d'une dalle flottante en béton armé coulée sur l'isolant, l'ossature comportant deux couches superposées à mailles carrées (10 cm).

L'ossature métallique des dalles doit être mise à la masse pour des raisons de sécurité électrique. [12]

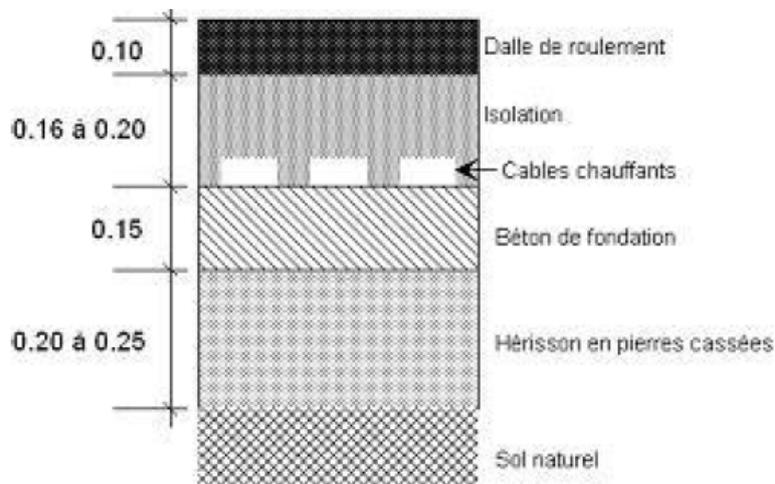


Figure II.1 : structure du sol d'une chambre froide négative [12]

Pour les chambres froides positives, la disposition courante consiste à couler sur un remblai une dalle en béton de 16 à 20 cm. [12]

II.7.3.3.Murs :

Pour les entrepôts frigorifiques à un seul niveau, la charpente métallique est la meilleure solution. Pour les murs, il est utilisé du matériau économique pour remplir les vides entre les poteaux de la charpente métallique (agglomérés de ciment de 0.15 à 0.20 m d'épaisseur avec enduits extérieur et intérieur de 1.5 à 2 cm au ciment). [12]

	extérieur	Intérieur			
		Paroi ventilée	très	Paroi ventilée peu	Paroi non ventilée
Coefficient de convection h (kCal/h/m ² °C)	20	15		10	7

Tableau II.3 : coefficients de convections extérieure et intérieure [12]

	Béton armé	Agglo ciment	Brique creuse	Brique pleine	Mortier ciment	asphalte	bois	Enduit grillage
Coefficient De conductibilité Thermique λ (W/m°C)	1.3	0.6	0.3 à 0.5	0.6 à 0.75	0.8	0.5	0.12 à 0.15	0.9

Tableau II.4 : coefficients de conductibilité thermique des matériaux utilisés pour les murs des chambres froides traditionnelles [12]

II.7.3.4.Toiture :

Il est conseillé d'utiliser une toiture classique à deux pans avec une couverture en tôle ondulée, le comble sous couverture devant être aéré de manière convenable.

Il est à proscrire la mise en œuvre de terrasses en béton armé à cause des risques de fissuration et d'humidification. [12]

II.7.3.5.Plafond :

Il s'agit en général de plafond non porteur. Il s'agit généralement de plafond de type suspendu avec réseau de chevrons supporté par l'aile inférieure des entrants de la charpente ou suspendu aux pièces de charpente. [12]

II.7.4.Isolation des chambres froides :

II.7.4.1.Généralités sur l'isolation :

L'isolation permet de diminuer le coût de frigorifiques produites, les isolants limitent les échanges thermiques entre le milieu extérieur et le milieu intérieur. Une bonne isolation s'impose donc pour le container afin de réduire les apports thermiques.

Un bon isolant doit :

- avoir une faible densité
- avoir une très faible conductivité thermique
- avoir une bonne résistance à la diffusion de la vapeur
- être non hygroscopique

- être imputrescible
- être résistant, et stable entre certaines limites de température
- être ininflammable
- être sans action sur le fer ou les matériaux en contact
- être d'un prix raisonnable
- conserver constante dans le temps, ses qualités d'isolation

La performance de l'isolation augmente si l'isolant contient une certaine quantité d'air car l'air est le meilleur isolant s'il est sec et au repos $\lambda=0.020\text{W/m.K}$, le grandeur qui permet de mesurer la qualité d'un isolant est la conductivité thermique en W/m.K ou $\text{W/m. }^\circ\text{C}$. [14]

II.7.4.2. La conductivité thermique ou coefficient de conductibilité des matériaux :

La conductivité thermique (λ) intervient dans la formulation de la loi de Fourier pour la conduction de la chaleur. Pour un système unidimensionnel, on a la relation :

$$q_x = -\lambda \frac{dT}{dx} A \quad (\text{II.1})$$

q_x : Flux de chaleur en watt

A : surface perpendiculaire a la direction en m^2

dT : Gradient de température suivant x (k/m)

dx : Conductivité thermique du corps en W/m.K

Elle est la grandeur introduite pour quantifier l'aptitude d'un corps à conduire de la chaleur. Elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de temps et par unité de surface sous l'action d'un gradient de température entre les deux extrémités d'une paroi quelconque.

Elle dépend essentiellement de la nature du matériau, la valeur de λ varie avec la température, mais en pratique on la considère souvent comme constante. La conductivité thermique détermine le choix de l'isolant, plus λ est faible plus on a une bonne isolation, pour les isolants λ varie de 0.025 à 0.093. [14]

II.7.4.3. Les norme d'isolation :

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

L'isolation doit limiter le coefficient global de transmission thermique à $0.36\text{W/m}^{\circ}\text{C}$

A travers toutes les parois du container. [14]

II.7.4.4. Isolation traditionnelle :

L'isolant généralement utilisé est le polystyrène (sous forme de plaques ou de feuilles).

Lorsque l'épaisseur de l'isolation est supérieure à 8 cm (voir 10 cm dans certains cas), il est adopté une seule couche d'isolation ; dans le cas contraire, il est adopté deux couches d'isolation à joints croisés. [12]

	Fibre de verre	polystyrène	Polyuréthane
Coefficient de Conductibilité Thermique λ ($\text{w/m}^{\circ}\text{C}$)	0.03	0.03	0.024

Tableau II.5 : coefficients de conductibilité thermique des isolants utilisés pour les murs des chambres froides traditionnelles [12]

L'isolant doit être protégé contre les chocs, le revêtement classique utilisé est l'enduit grillagé.

Il s'agit de grillage à mailles hexagonales (mailles de 25 mm) fixé contre l'isolant par des étriers et recouvert par un enduit ciment.

Pour les grandes chambres froides, il peut être mis en œuvre de la tôle en acier nervurée. Le plafond n'est généralement pas protégé à cause du faible risque de chocs. [12]

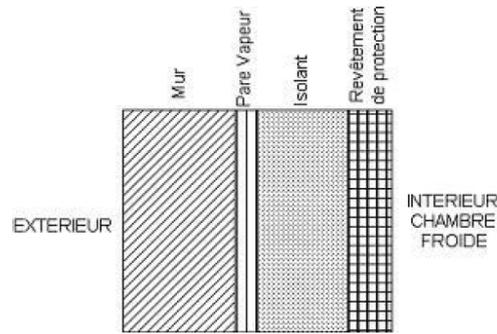


Figure II.2 : composition de la paroi d'une chambre froide traditionnelle [12]

II.7.4.5. Panneaux préfabriqués :

Les panneaux préfabriqués utilisés dans les chambres froides sont constitués d'un isolant (polyuréthane) dont les faces sont intimement collées à deux feuilles résistantes :

- tôle en acier galvanisé (1 mm)
- Alliage d'aluminium
- Acier inoxydable
- Stratifié verre - polyester (3 à 4 mm)
- Contreplaqué qualité marine (10 mm)

L'assemblage des panneaux pour la constitution de la chambre froide est effectué sur le site.

Les panneaux préfabriqués sont des panneaux sandwich à âme isolante en polyuréthane avec des épaisseurs variant de 60 à 200 mm. [12]

II.8. Les appareils des chambres froides :

II.8.1. Les organes principaux d'une machine frigorifique :

La machine frigorifique à compression de vapeur est composée de 4 organes principaux que sont :

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

Le fluide frigorigène décrit un cycle fermé en quatre phases à travers le circuit constitué des organes principaux :

La compression du fluide gazeux

La condensation du fluide gazeux

La détente du fluide liquide

La vaporisation du fluide liquide (production du froid) [12]

II.8.1.1.LES COMPRESSEURS :

Le compresseur a pour rôle d'aspirer les vapeurs venants de l'évaporateur à une pression faible et de refouler à haute pression ces vapeurs comprimées dans le condenseur. [15]

II.8.1.1.1.Les types de compresseurs :

Il existe deux grands types de compresseurs à vapeur :

Les compresseurs volumétriques : dans lesquels la compression des vapeurs est obtenue par la réduction du volume intérieur d'une chambre de compression, c'est le type de compresseur le plus répandu sur les installations frigorifiques.

Il existe plusieurs types de compresseurs volumétriques et la classification retenue permet de distinguer :

Compresseurs à pistons (alternatifs)

Compresseurs à palettes (rotatifs)

Compresseurs hélicoïdaux ou à vis (rotatifs)

Compresseurs spiroïdaux ou scroll (rotatifs)

Les compresseurs centrifuges : aussi appelés turbocompresseurs dans lesquels la compression résulte de la force centrifuge obtenue par entraînement dynamique au moyen d'une roue à aubes, c'est un type de compresseurs destiné à des applications spécifiques et utilisés pour de grandes puissances (groupes frigorifiques de en génie climatique par exemple).

On les distingue également par l'association grande puissance moteur-compresseur :

Le compresseur ouvert.

Le compresseur hermétique.

Le compresseur semi-hermétique. [12]



Figure II.3 : compresseur hermétique [12]

II.8.1.1.2. Sélection du compresseur :

La sélection du compresseur est une étape importante dans le dimensionnement d'une machine frigorifique

Généralement Le cahier de charge est défini pour un point nominal de fonctionnement :

- puissance frigorifique requise
- température d'évaporation
- température de condensation
- données du cycle frigorifique
- fluide frigorigène [15]

II.8.1.2. Les condenseurs :

Les condenseurs sont des échangeurs thermiques entre le fluide frigorigène et un fluide de refroidissement. Le fluide frigorigène cède la chaleur acquise, dans l'évaporateur et lors de la compression, au fluide de refroidissement.

Lors de son passage dans le condenseur, le fluide frigorigène passe de l'état vapeur à l'état liquide. [12]

On distingue deux familles de condenseurs suivant le fluide de refroidissement :

Les condenseurs à air :

- les condenseurs à air à convection naturelle
- les condenseurs à air à convection forcée

Les condenseurs à eau :

- les condenseurs à double tube (condenseurs coaxiaux)
- les condenseurs bouteilles (condenseurs à serpentin)
- les condenseurs multitubulaires
- les condenseurs à plaques brasées (échangeur à plaques)

Le tableau suivant donne les avantages et les inconvénients de chacune des deux familles.

	Avantages	Inconvénients
Condenseurs à air	Air disponible en quantité illimitée Entretien simple et réduit	Coefficients globaux d'échange thermique relativement faibles Plus imposants et plus lourds Températures de condensation élevées dans les pays chauds
Condenseurs à eau	Coefficients globaux d'échange thermique plus élevés Plus compacts et moins encombrants à puissance égale Températures de condensation stables et de bas niveau Fonctionnement moins bruyant Possibilité de récupération d'énergie	Gaspillage d'eau pour les condenseurs à eau perdue Nécessité de mise en place d'un système de refroidissement de l'eau

Tableau II.6 : Avantages et inconvénients des condenseurs à air et à eau. [12]

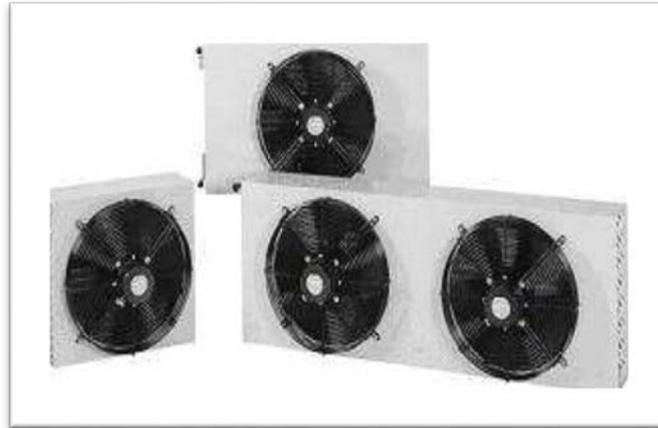


Figure II.4 : condenseur a air [12]

II.8.1.3. Les détendeurs :

Les détendeurs sont destinés à l'alimentation des évaporateurs en fluide frigorigène.

Suivant le principe de fonctionnement des évaporateurs, on distinguera :

Les dispositifs alimentant les évaporateurs à détente sèche

Les dispositifs alimentant les évaporateurs noyés

Les dispositifs alimentant les évaporateurs à détente sèche communément appelés détendeurs seront abordés dans cette partie.

Quant aux autres dispositifs, il s'agit de systèmes de détection de niveau. [12]

Les détendeurs pour évaporateurs à détente sèche se regroupent en trois types :

- les tubes capillaires ou détendeurs capillaires
- les détendeurs thermostatiques
- les détendeurs électroniques

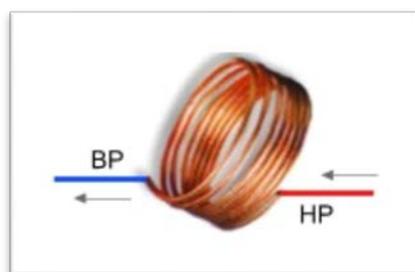


Figure II.5 : détendeur capillaire

II.8.1.4. Les évaporateurs :

Les évaporateurs sont des échangeurs thermiques entre le fluide frigorigène (FF) et le fluide à refroidir. Le FF absorbe la chaleur du fluide à refroidir ; ce dernier se refroidit tandis que le FF se vaporise. [12]

On distingue deux familles d'évaporateurs suivant le fluide à refroidir :

Les évaporateurs à eau

- les évaporateurs double tube (évaporateurs coaxiaux)
- les évaporateurs du type serpentin
- les évaporateurs multitubulaires
- les évaporateurs du type échangeur à plaques

Les évaporateurs à air

- les évaporateurs à air à convection naturelle
- les évaporateurs à air à convection forcée

Suivant le mode de fonctionnement de l'évaporateur, on distingue :

- les évaporateurs à détente sèche ou à surchauffe
- les évaporateurs noyés ou évaporateurs à regorgement



Figure II.6 : évaporateur a air [12]

II.8.1.5. Le dégivrage :

L'air contient toujours une certaine quantité d'humidité et lorsque la température de surface de l'évaporateur ou de l'échangeur extérieur (pour une PAC) est négative ou inférieure au point de rosé de l'air, cette humidité se dépose sur les ailettes de l'échangeur sous forme de givre et si l'on n'élimine pas ce givre ainsi formé il remplira progressivement les espaces entre les ailettes puis recouvrira l'évaporateur avec une couche qui ne permettra plus le passage de l'air et les performances de l'appareil diminueront. [12]

Il existe plusieurs techniques de dégivrage :

- dégivrage par circulation d'air ambiant
- dégivrage à l'eau
- dégivrage à la saumure
- dégivrage par résistances électriques
- dégivrage par gaz chauds

II.8.2. Les organes annexes :**II.8.2.1. Le réservoir de liquide :**

Il est placé à la sortie du condenseur et sert à stocker le FF liquide à la mise en d'arrêt de l'appareil ou lors des opérations de maintenance.

Il permet d'alimenter le détendeur en liquide de façon permanente à l'aide de son tube plongeur.

Il joue également un rôle important dans la régulation du système frigorifique lorsque les variations de charges thermiques sont importantes.

Le réservoir de liquide aussi bouteille liquide, bouteille accumulatrice ou « receiver » peut être quelque fois dimensionnée pour stocker toute la charge en FF de l'installation.

Son utilisation est préconisée sur les installations frigorifiques ; dans le cas de grandes installations avec condenseurs à air, il est fortement recommandé de le placer dans le circuit frigorifique.



Figure II.7 : le réservoir de liquide [12]

II.8.2.2. La bouteille anti-coups de liquide :

Elle est placée entre l'évaporateur et le compresseur (à proximité du compresseur) et son rôle est d'éviter l'aspiration éventuelle de FF liquide par le compresseur : prévention des coups de liquide.

Elle est également appelée bouteille d'aspiration, bouteille de surchauffe ou séparateur de liquide. Le principe de fonctionnement est basé sur la séparation des phases vapeur et liquide du FF.



Figure II.8 : La bouteille anti-coups de liquide [12]

II.8.2.3. Le séparateur d'huile :

Son utilisation est obligatoire pour les installations où le FF est non miscible avec l'huile (par exemple le R717). Il est également présent dans les installations de grande puissance même avec des FF miscibles avec l'huile.

Afin d'empêcher au maximum la circulation de cette huile dans le circuit frigorifique, on va la piéger et la renvoyer au carter du compresseur à l'aide d'un séparateur d'huile.



Figure II.9 : Le séparateur d'huile [15]

II.8.2.4. Les pompe :

Dans les installations frigorifiques, les pompes (ou circulateurs) sont utilisées pour :

- assurer la circulation de l'eau de refroidissement des condenseurs
- assurer la circulation d'un médium frigoporteur (eau glacée, eau glycolée...)
- assurer la circulation du FF; il s'agit alors de pompes à FF.

Pompes à Fluide Frigorigène

Elles sont utilisées surtout pour les installations desservant plusieurs évaporateurs avec une circulation du FF liquide entre un réservoir liquide détendu et les évaporateurs.

Il s'agit en général de pompes de type centrifuge.

La puissance électrique absorbée par une pompe à FF varie en fonction du FF et du taux de circulation (débit de FF en circulation) entre 0.2 et 1.5% de la puissance frigorifique, elle est donc négligeable dans la plupart des cas.



Figure II.10 : les pompes [12]

II.8.2.5. Les ventilateurs :

Dans les installations frigorifiques, les ventilateurs se rencontrent sur :

- les évaporateurs à air à convection forcée
- les condenseurs à air à convection forcée
- les tours de refroidissement, les aérorefroidisseurs et les condenseurs évaporatifs.

Deux types de ventilateurs sont généralement rencontrés :

- les ventilateurs hélicoïdes, surtout utilisés pour les gros débits sous de faibles pertes de charge (PDC)
- les ventilateurs centrifuges utilisés lorsque les PDC sont importantes.

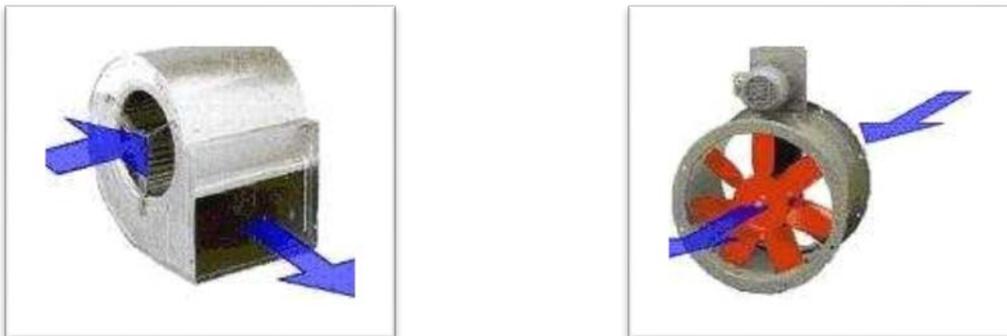


Figure II.11 : les ventilateurs (centrifuge et axial) [12]

II.8.2.6. Le filtre deshydrateur :

Il convient de distinguer :

- le filtre qui sert à piéger les impuretés contenues dans le circuit frigorifique
- le déshydrateur qui permet l'élimination de l'humidité contenue dans le circuit frigorifique

- le filtre déshydrateur qui rassemble dans le même appareil les fonctions de filtre et de déshydrateur.



Figure II.12 : filtre déshydrateur [12]

II.8.2.7. Les voyants :

Il faut distinguer parmi les voyants :

Les voyants simples

Les voyants indicateurs d'humidité

Le voyant simple (verre épais serti dans une embase métallique) est un organe placé juste avant le détendeur et après le filtre déshydrateur. Il permet de contrôler la présence éventuelle de bulles donc de FF à l'état vapeur, indice d'anomalie (charge insuffisante en FF, filtre déshydrateur bouché, SR insuffisant...).

Le voyant indicateur d'humidité est un voyant simple avec une double fonction, celle de l'indication de l'état de saturation (humidité) du circuit frigorifique. Il s'agit d'un voyant avec une couronne indicatrice (sel chimique) qui change de couleur en fonction de la quantité d'eau contenue dans le FF. Le vert indique généralement un circuit sec (parfaitement déshydraté) et le jaune un circuit humide ; le vert clair indique que le filtre déshydrateur est en train de se saturer.

[12]



Figure II.13 : voyant liquide [16]

II.8.2.8. Eliminateur de vibrations :

Il permet de réduire les vibrations transmises au circuit frigorifique par une machine en mouvement (compresseur) et d'absorber les tensions dues aux dilatations et aux contractions des conduits.

Il se monte le plus près possible de l'organe qui produit ces vibrations (refoulement compresseur, aspiration compresseur...). Il est constitué d'un tuyau flexible ondulé réalisé en inox ou en cuivre et revêtu d'une tresse en fil d'acier galvanisé ou en cuivre. [12]



Figure II.14 : éliminateur de vibrations [12]

II.8.2.9. Les électrovannes :

Ce sont des appareils qui réalisent l'isolement des circuits fluidiques par une commande électrique. Il existe deux familles d'électrovannes : les normalement fermées (NF) et les normalement ouvertes (NO). Pour savoir quel type d'électrovanne choisir, il convient de se demander : "en cas de problème, est-il préférable que l'électrovanne soit ouverte ou fermée. [12]

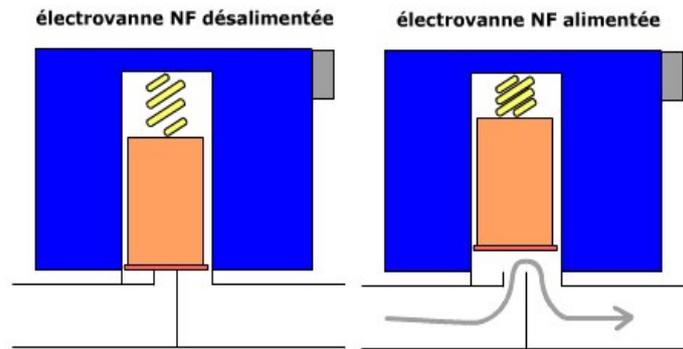


Figure II.15 : les électrovannes [12]

II.9. Les fluides frigorigènes :

II.9.1. Définition :

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

Le fluide frigorigène est le carburant d'une installation frigorifique dans laquelle, circulant, il est évaporé, comprimé, liquéfié et détendu. Il assure le transfert de la chaleur en recevant, en dessous de la température ambiante, par liquéfaction.

Le fluide frigorigène permet les échanges de chaleur dans un système frigorifique par ses changements d'état que sont l'évaporation et la condensation. [17]

II.9.2. Classification des fluides frigorigènes :

Les fluides frigorigènes obéissent à une classification qui permet une désignation précise de chaque fluide. Cette classification est effectuée sur la base de critères différents suivant la famille ou la sous famille de fluides considérés.

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

Les composés inorganiques :

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

Le fluide le plus utilisé de cette famille est l'ammoniac (NH_3) 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 »)

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

II.9.3. Les caractéristiques physiques du fluide frigorigène parfait :

- ✓ Chaleur latente de vaporisation très élevée.
- ✓ Point d'ébullition, sous la pression atmosphérique, suffisamment bas.
- ✓ Pas d'action sur les métaux composant le circuit (ainsi, par exemple l'ammoniac attaque le cuivre).
- ✓ Non inflammable et non explosif en mélange avec l'air.
- ✓ Sans effet sur la santé du personnel.
- ✓ Sans action sur les denrées à conserver.
- ✓ Sans odeur ou n'ayant qu'une faible odeur non désagréable.
- ✓ Pas d'action sur la couche d'ozone.
- ✓ Pas d'action sur le réchauffement terrestre.

II.9.4. Le choix d'un fluide frigorigène :

Le choix d'un fluide frigorigène repose sur les critères suivants :

- Les conditions d'utilisation (applications) du fluide frigorigène.
- Le critère économique et la disponibilité du fluide frigorigène.
- Le critère de réglementation (noms, recommandations, impacts environnementaux...) [17]

Pour notre étude on a choisi le fluide R404A qui est un mélange azéotropique de type HFC est qui comprend de 44% R125 et 52%R143a et 4%R134a.

Chapitre III

Bilan thermique

III.1. Généralités :

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

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

- les charges thermiques externes
- les charges thermiques internes

Les charges thermiques externes comprennent :

- ✓ les charges dues aux apports de chaleur par transmission à travers l'enveloppe de la chambre froide (parois verticales, plancher bas et plancher haut)
- ✓ les charges dues au renouvellement d'air
- ✓ les charges dues à l'ouverture des portes

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

Les charges thermiques internes dépendantes des produits entreposés comprennent :

- ✓ les charges dues aux produits entrants
- ✓ les charges dues à la respiration des produits (fruits et légumes)

Les charges thermiques internes indépendantes des produits entreposés comprennent :

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

III.2. Charges thermiques externes :**III.2.1. Charge thermique par transmission à travers les parois Q_{tr} :**

Le calcul s'effectue paroi par paroi à savoir les quatre parois verticales puis le plancher haut (toiture) et enfin le plancher bas lorsqu'il s'agit de chambre froide négative.

La charge thermique par transmission a pour valeur :

$$Q_{tr} = k \times S \times \Delta T \quad (\text{III.1})$$

Q_{tr} : charge thermique par transmission à travers les parois (en W)

K : coefficient de transmission thermique de la paroi considérée en $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

S : surface de la paroi considérée en m^2

ΔT : différence de température entre les deux côtés de la paroi considérée en $^\circ\text{C}$

Le coefficient de transmission thermique K s'exprime comme suit :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} \quad (\text{III.2})$$

K : coefficient de transmission thermique en $\text{W/m}^2\text{C}$

$1/h_i$: résistance thermique superficielle interne en $\text{m}^2\text{C/W}$

$\sum e_n/\lambda_n$: somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi en $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$

$1/h_e$: résistance thermique superficielle externe en $\text{m}^2\text{C/W}$

e_n : épaisseur de la paroi n en m

λ_n : conductivité thermique de la paroi n en $\text{W/m}^\circ\text{C}$

Les parois de chambres froides sont en général bien isolées thermiquement si bien que par souci de simplification, on ne tient pas souvent compte dans les calculs que de la résistance thermique de l'isolant.

Le coefficient de transmission thermique K devient Pour le calcul des épaisseurs d'isolation, les flux de chaleur admissibles à travers les parois de la chambre froide sont les suivants :

Pour les chambres froides positives : 7 Kcal/h/m^2 (8 W/m^2)

Pour les chambres froides négatives : 5 kCal/h/m^2 (6 W/m^2)

III.2.2. Charge thermique due au renouvellement d'air Q_{re} :

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

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

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

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

$$Q_{re} = m_{ae} \times \Delta h \quad (\text{III.3})$$

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

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

Δh : différence d'enthalpie entre l'air extérieur et l'air de la chambre froide en J/kg

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

$$m_{ae} = \frac{v \times \rho}{86400} \quad (\text{III.4})$$

m_{ae} : Débit massique de l'air extérieur admis en kg/

v : Débit volumique d'air extérieur en m^3/j

ρ : masse volumique de l'air dans la chambre froide en kg/m^3

(86 400 = nombre de secondes dans une journée)

Le débit volumique peut être obtenu par la relation suivante :

$$v = n \times V \quad (\text{III.5})$$

v : Débit volumique en m^3 /j

V : volume de la chambre froide en m^3

n : taux de renouvellement de l'air extérieur

n (en j-1) peut être déterminé par la relation :

$$n = \frac{70}{\sqrt{V}} \quad (\text{III.6})$$

Le taux de renouvellement est lié au trafic des produits, des machines et des personnes entre l'extérieur et l'intérieur de la chambre froide. Plus le trafic est intense, plus le taux de renouvellement est élevé.

Lorsque le trafic est intense, dans la formule exprimant n , 70 peut être remplacé par 100.

D'après ce qui précède, la chaleur due au renouvellement d'air peut s'exprimer :

$$Q_{re} = (n \times V \times \rho \times \Delta h) / 86400 \quad (\text{III.7})$$

Q_{re} : chaleur due au renouvellement de l'air en W

n : taux de renouvellement de l'air par jour

V : volume intérieur de la chambre froide en m³

ρ : masse volumique de l'air dans la chambre froide en kg/m³

Δh : différence d'enthalpie entre l'air extérieur et l'air ambiant de la CF en J/kg

III.2.3. Charge thermique par ouverture des portes Q_{op} :

Pour les petites chambres froides, le calcul du renouvellement d'air est suffisant.

Par contre pour les chambres froides de grand volume comportant plusieurs portes, on suppose presque toujours qu'il n'y a que très rarement ouverture simultanée de plusieurs portes et le calcul est effectué pour une seule porte.

La charge thermique par ouverture des portes s'obtient par la relation suivante :

$$Q_{op} = 8 + (0.067 \times \Delta T) \times t_{ouv} \times \rho_{aa} \times l \times h \times A \times C_{min} \quad (\text{III.8})$$

A est un facteur qui se calcule comme suit :

$$A = (h_{ae} - h_{aa}) \times (h \times (1 - \frac{\rho_{ae}}{\rho_{aa}}))^{1/2} \quad (III.9)$$

Q_{op} : Charge thermique par ouverture des portes en W

ΔT : Ecart de température de l'air entre les 2 côtés de la porte en °C

t_{ouv} : temps d'ouverture des portes exprimé en mn/h

ρ_{aa} : masse volumique de l'air dans la chambre froide en kg/m³

ρ_{ae} : masse volumique de l'air de l'autre côté de la porte en kg/m³

h_{aa} : enthalpie de l'air dans la chambre froide en KJ/kg

h_{ae} : enthalpie de l'air de l'autre côté de la porte autre que la chambre froide en KJ/kg

l : largeur de la porte en m

h : hauteur de la porte en m

C_{min} : coefficient de minoration dû à la présence éventuelle d'un rideau d'air

($C = 1$ dans le cas d'une porte sans rideau et $C = 0.25$ en présence d'un rideau)

$$\text{Avec : } t_{ouv} = dt \times \frac{f_i}{24} \quad (III.10)$$

t_{ouv} : temps d'ouverture en mn/h

dt : durée moyenne d'ouverture des portes pour permettre le passage des marchandises en minute par tonne (mn/t)

f_j : flux journalier de marchandises en tonne/jour (t/j)

III.3. Charges thermiques internes :

III.3.1. Charges thermiques internes indépendantes des produits entreposés :

III.3.1.1. Charge thermique due à l'éclairage :

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

L'éclairage nominal habituellement prévu oscille entre 60 et 100 lux ce qui fait que l'on peut adopter une charge thermique d'environ 6 W/m² au sol.

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

$$Q_{ec} = \frac{n \times p \times t}{24} \quad (\text{III.11})$$

Q_{ec} : Charge thermique due à l'éclairage en W

n : nombre de luminaires

P : puissance de chaque luminaire en W

t : durée de fonctionnement des luminaires en h/j

III.3.1.2. Charge thermique due aux personnes :

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

$$Q_{pe} = \frac{n \times q \times t}{24} \quad (\text{III.12})$$

Q_{pe} : charge thermique due aux personnes en W

n : nombre de personnes opérant dans la chambre froide

q : quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne en activité en W

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

Le métabolisme d'une personne en activité dans une chambre froide est lié à la température intérieure de celle-ci.

III.3.1.3. Charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs :

La charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs s'écrit :

$$Q_{vent} = \frac{n \times p \times t}{24} \quad (\text{III.13})$$

Q_{vent} : charge thermique due aux moteurs des évaporateurs en W

n : nombre de moteurs de ventilateurs

P : puissance du ventilateur considérée en W

t : durée de fonctionnement des ventilateurs en h/j

III.3.1.4. Charge thermique due aux résistances de dégivrage :

Il existe différents systèmes de dégivrage d'un évaporateur mais il s'agit souvent de résistances électriques.

La charge thermique due aux résistances de dégivrage s'écrit :

$$Q_{deg} = \frac{n \times p \times t}{t_{inst}} \quad (\text{III.14})$$

Q_{deg} : charge thermique due aux résistances de dégivrage en W

n : nombre de résistances électriques

P : puissance calorifique de chaque résistance d'un type donné en W

t : durée journalière de dégivrage en h/j

t_{inst} : durée de marche de l'installation frigorifique en h/j

III.3.2. Charges thermiques internes dépendantes des denrées entreposées :

III.3.2.1. Charge thermique due aux denrées entrantes Q_{de} :

Les produits introduits se trouvent presque toujours à une température supérieure à la température de la chambre froide. Ils dégagent une certaine quantité de chaleur aussi longtemps que leur température n'est pas tombée à la température d'entreposage.

La charge due aux produits entrants est donnée par la formule suivante :

$$Q_{de} = (m \times (C1 \times (T1-T2) + L + C2 \times (T2-T3)))/86400 \quad (\text{III.15})$$

Q_{de} : charge thermique due aux denrées entrantes

m : masse de denrée introduite chaque jour en kg

$C1$: capacité thermique massique avant congélation des denrées en J/kg°C

$C2$: capacité thermique massique après congélation des denrées en J/kg°C

L : chaleur latente de congélation de la denrée introduite en J/kg

T1 : température initiale de la denrée introduite en °C

T2 : température de congélation de la denrée introduite en °C

T3 : température d'entreposage des denrées en °C

Lorsqu'il ne s'agit que de denrées non congelées à réfrigérer, la formule ci dessus se résume à :

$$Q_{de} = \frac{m \times C1 \times (T1 - T2)}{86400} \quad (\text{III.16})$$

Dans ce cas de figure, T2 est la température d'entreposage des denrées (T2 est supérieure à la température de congélation de la denrée introduite).

Lorsqu'il s'agit de denrées congelées à conserver dans une chambre froide dont la température est inférieure à la température de congélation de ces denrées, la formule ci dessus va s'écrire :

$$Q_{de} = \frac{m \times C2 \times (T2 - T3)}{86400} \quad (\text{III.17})$$

Dans ce cas de figure, T2 est la température initiale de la denrée introduite et T3 est la température d'entreposage de la chambre froide.

La capacité thermique massique d'un produit ou d'une denrée est liée à sa composition surtout à sa teneur en eau. Les formules suivantes donnent avec une bonne approche la capacité thermique connaissant la teneur en eau et la teneur en matière solide du produit

Capacité thermique avant congélation :

$$c = \frac{a + 0.46 \times b}{100} \quad (\text{III.18})$$

Capacité thermique après congélation :

$$c' = \frac{0.5 \times a + 0.46 \times b}{100} \quad (\text{III.19})$$

Avec :

a : teneur en eau

b : teneur en matière solide

c et *c'* s'expriment en kCal/kg°C

Par exemple pour l'eau : $a = 100$, $b = 0$, $c = 1 \text{ kCal/kg}^\circ\text{C}$, $c' = 0.5 \text{ kCal/kg}^\circ\text{C}$.

La charge thermique due aux denrées entrantes peut être obtenue également en utilisant les enthalpies des denrées comme suit :

$$Q_{de} = \frac{m \times \Delta h}{86400} \quad (\text{III.20})$$

Q_{de} : Charge thermique due aux denrées entrantes

m : masse de denrée introduite chaque jour en kg

Δh : différence entre les enthalpies massiques des denrées à l'introduction et à la température de conservation dans la chambre froide en J/kg

III.3.2.2. Charge thermique due à la respiration des denrées Q_{res} :

Les produits végétaux (fruits et légumes) dégagent de la chaleur du fait de leur respiration.

Il faut tenir compte de la charge correspondante qui a pour valeur :

$$Q_{res} = \frac{m \times q_{res}}{86400} \quad (\text{III.21})$$

Q_{res} : chaleur due à la respiration des denrées en W

m : masse de marchandise considérée en kg

q_{resp} : chaleur de respiration de la marchandise considérée en J/kg/j

III.4. Charge frigorifique effective :

La charge frigorifique effective est la somme de toutes ces charges précédemment déterminées

$$Q = Q_{tr} + Q_{re} + Q_{op} + Q_{ec} + Q_{pe} + Q_{de} + Q_{res} + Q_{vent} + Q_{deg} \quad (\text{III.22})$$

III.5. Calcule des charges thermiques :

On a choisi 4 chambres froides situées dans Hassi-Messaoud, la figure III.1 montre le plan architectural avec les dimensions des chambres.

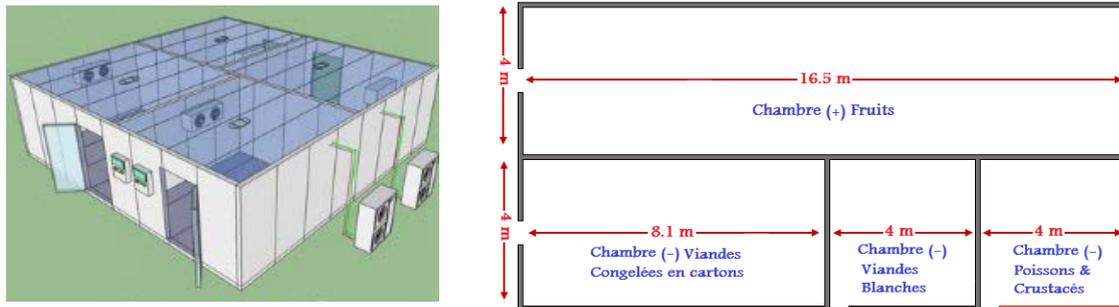


Figure III.1 : les plans 3D et 2D

III.5.1. calcul des charges externes :

III.5.1.1. Charge thermique par transmission à travers les parois :

$$Q_{tr} = k \cdot S \cdot \Delta T$$

Calcul de k :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}}$$

On a pris e= 80mm

Désignation des parois	K (W/m²k)	Surface (m²)	ΔT	Qtr (W)
Mur 1	0.24	49.5	13	154.44
Mur 2	0.24	12	40	115.2
Mur 3	0.24	49.5	-60	-712.8
Mur 4	0.24	5.75	40	55.2
Plancher haut	0.33	66	40	871.2
Plancher bas	0.29	66	10	191.4

Tableau III.1 : charge thermique Qtr pour la chambre 1

Calcule la charge thermique totale :

$$Q_{tr} (totale) = 154.44 + 115.2 - 712.8 + 55.2 + 871.2 + 191.4$$

$$Q_{tr} (totale) = 674.64 W$$

$$Q_{tr} (totale) = 0.67 kw$$

Désignation des parois	K (W/m ² k)	Surface (m ²)	ΔT	Qtr (W)
Mur 1	0.24	12	14	40.32
Mur 2	0.24	12	54	155.52
Mur 3	0.24	5.75	27	37.26
Mur 4	0.24	12	-9	-25.92
Plancher haut	0.3	16	54	259.2
Plancher bas	0.29	16	24	111.36

Tableau III.2 : charge thermique Q_{tr} pour la chambre 2

Calcule la charge thermique :

$$Q_{tr} (totale) = 40.32 + 155.52 + 37.26 - 25.92 + 259.2 + 111.36$$

$$Q_{tr} (totale) = 613.74 \text{ W}$$

$$Q_{tr} (totale) = 0.61 \text{ kw}$$

Désignation des parois	K (W/m ² k)	Surface (m ²)	ΔT	Qtr (W)
Mur 1	0.24	12	23	66.24
Mur 2	0.24	12	9	25.92
Mur 3	0.24	5.75	36	49.68
Mur 4	0.24	12	0	0
Plancher haut	0.26	16	63	262.08
Plancher bas	0.29	16	33	153.12

Tableau III.3 : charge thermique Q_{tr} pour la chambre 3

Calcule la charge thermique :

$$Q_{tr} (totale) = 66.24 + 25.92 + 49.68 + 262.08 + 153.12$$

$$Q_{tr} (totale) = 557.04 \text{ W}$$

$$Q_{tr} (totale) = 0.55 \text{ kw}$$

Désignation des parois	K (W/m ² k)	Surface (m ²)	ΔT	Qtr (W)
Mur 1	0.24	24.3	23	134.13
Mur 2	0.24	12	0	0
Mur 3	0.24	24.3	36	209.95
Mur 4	0.24	5.75	63	86.94

Plancher haut	0.26	32.4	63	530.71
Plancher bas	0.29	32.4	33	310.06

Tableau III.4 : charge thermique Q_{tr} pour la chambre 4

Calcule la charge thermique :

$$Q_{tr} (totale) = 134.13 + 209.95 + 86.94 + 530.71 + 310.06$$

$$Q_{tr} (totale) = 1271.79 \text{ W}$$

$$Q_{tr} (totale) = 1.27 \text{ kw}$$

III.5.1.2. Charge thermique due au renouvellement d'air :

$$Q_{re} = m_{ae} \cdot \Delta h$$

Calcule la charge par renouvellement d'air pour les chambres :

$$\text{On a: } m_{ae} = \frac{v_{ae} \times \rho_{ae}}{86400}$$

$$\text{Avec: } v_{ae} = v \times n \text{ et } n = 70/\sqrt{V}$$

Chambre 1 :

$$V = 198 \text{ m}^3 \text{ Donc } n = 4.97$$

$$V_{ae} = 4.97 \times 198 = 985.07 \text{ m}^3/\text{J}$$

$$\text{La masse volumique d'air extérieur : } \rho_{ae} = \frac{1}{v_{spicifique}}$$

$$\rho_{ae} = \frac{1}{0.795} = 1.25 \text{ kg/m}^3 \text{ (d'après le diagramme de l'air humide)}$$

$$m_{ae} = 0.014 \text{ kg/s}$$

Déterminer Δh :

D'après le diagramme de l'air humide :

$$\Delta h = 120 - 16 = 104 \text{ kJ/kg}$$

Donc :

$$Q_{re} = 0.014 \times 104$$

$$Q_{re} = 1.45 \text{ kW}$$

Chambre 2 :

On fait les mêmes étapes :

Donc on trouve :

$$V = 48 \text{ m}^3 \text{ donc } n = 10.11$$

$$V_{ae} = 48 \times 10.11 = 485.54 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\rho_{ae} = 1.32 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{ae} = 0.0074 \text{ kg/s}$$

$$\Delta h = 120 - (-4) = 124 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{re} = 0.91 \text{ kW}$$

Chambre 3:

$$V = 48 \text{ m}^3 \text{ donc } n = 10.11$$

$$V_{ae} = 485.54 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\rho_{ae} = 1.35 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{ae} = 0.0075 \text{ kg/s}$$

$$\Delta h = 120 - (-15) = 135 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{re} = 1.01 \text{ kW}$$

Chambre 4:

$$V = 97.2 \text{ m}^3 \text{ Donc } n = 7.10$$

$$V_{ae} = 690.12 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\rho_{ae} = 1.35 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{ae} = 0.01 \text{ kg/s}$$

$$\Delta h = 120 - (-15) = 135 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{re} = 1.35 \text{ kW}$$

III.5.1.3.charges thermiques due a l'ouverture des portes :

$$Q_{op} = [8 + (0.067 \times \Delta T)] \times t_{ouv} \times \rho_{aa} \times l_p \times h_p \times \sqrt{h_p \times \left(1 - \frac{\rho_{ae}}{\rho_{aa}}\right)} \times (h_{ae} - h_{aa}) \times Cr$$

$$t_{ouv} = \frac{dt \times fj}{24}$$

Pour chambre 1 :

$$\Delta T = 45 - 5 = 40 \text{ C}^\circ$$

$$\rho_{ae} = 1.2 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{aa} = 1.28 \text{ kg/m}^3$$

$$h_{ae} = 31 \text{ kj/kg}$$

$$h_{aa} = 16 \text{ kj/kg}$$

$$l_p = 2.5 \text{ m}$$

$$h_p = 2.5 \text{ m}$$

$$Cr = 0.25$$

Calcule la capacite de stockage:

$$C = A \times h \times de \times \eta^\circ$$

Avec :

$$A = 255 \text{ m}^2$$

$$h = 3 \times 0.8 = 2.4 \text{ m}$$

$$de = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta^\circ = 0.7$$

$$C = 255 \times 2.4 \times 350 \times 0.7$$

$$C = 149.94 \text{ t/j}$$

$$fj = C \times 25\%$$

$$fj = 149.94 \times 0.25 = 37.48 \text{ tonnes/jour}$$

Calcule touv :

$$touv = \frac{dt \times fj}{24}$$

$$dt = 6$$

$$touv = \frac{6 \times 37.48}{24} = 9.37$$

$$Q_{op} = [8 + (0.067 \times 40)] \times 9.37 \times 1.28 \times 2.5 \times 2.5 \times \sqrt{2.5 \times \left(1 - \frac{1.2}{1.28}\right)} \times (31-16) \times 0.25$$

$$Q_{op} = 1230.88 \text{ W}$$

$$Q_{op} = 1.23 \text{ kW}$$

Pour chambre 2 :

$$\Delta T = 18 - (-9) = 27 \text{ C}^\circ$$

$$\rho_{ae} = 1.2 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{aa} = 1.32 \text{ kg/m}^3$$

$$h_{ae} = 31 \text{ kj/kg}$$

$$h_{aa} = -4 \text{ kj/kg}$$

$$lp = 2.5 \text{ m}$$

$$hp = 2.5 \text{ m}$$

$$Cr = 0.25$$

Calcule la capacité de stockage:

$$C = A \times h \times de \times \eta^\circ$$

Avec :

$$A = 80 \text{ m}^2$$

$$h = 3 \times 0.8 = 2.4 \text{ m}$$

$$de = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta^\circ = 0.7$$

$$C = 80 \times 2.4 \times 350 \times 0.7$$

$$C = 47.04 \text{ t/j}$$

$$fj = C \times 25\%$$

$$fj = 47.04 \times 0.25 = 11.76 \text{ tonnes/jour}$$

Calcule touv :

$$touv = \frac{dt \times fj}{24}$$

$$dt = 15$$

$$touv = \frac{15 \times 11.76}{24} = 7.35 \text{ t/j}$$

$$Qop = [8 + (0.067 \times 27)] \times 7.35 \times 1.32 \times 2.5 \times 2.5 \times \sqrt{2.5 \times \left(1 - \frac{1.2}{1.32}\right)} \times (31 - (-4))$$

$$\times 0.25$$

$$Qop = 2602.22 \text{ W}$$

$$Qop = 2.60 \text{ kW}$$

Pour chambre 3 :

$$\Delta T = 18 - (-18) = 36 \text{ C}^\circ$$

$$\rho_{ae} = 1.2 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{aa} = 1.35 \text{ kg/m}^3$$

$$h_{ae} = 31 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{aa} = -15 \text{ kJ/kg}$$

$$l_p = 2.5 \text{ m}$$

$$h_p = 2.5 \text{ m}$$

$$C_r = 0.25$$

Calcule la capacité de stockage:

$$C = A \times h \times de \times \eta^\circ$$

Avec :

$$A = 80 \text{ m}^2$$

$$h = 3 \times 0.8 = 2.4 \text{ m}$$

$$de = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta^\circ = 0.7$$

$$C = 80 \times 2.4 \times 350 \times 0.7$$

$$C = 47.04 \text{ t/j}$$

$$f_j = C \times 25\%$$

$$f_j = 47.04 \times 0.25 = 11.76 \text{ tonnes/jour}$$

Calcule t_{ouv} :

$$t_{ouv} = \frac{dt \times f_j}{24}$$

$$dt = 15$$

$$t_{ouv} = \frac{15 \times 11.76}{24} = 7.35 \text{ t/j}$$

$$Q_{op} = [8 + (0.067 \times 36)] \times 7.35 \times 1.35 \times 2.5 \times 2.5 \times \sqrt{2.5 \times \left(1 - \frac{1.2}{1.35}\right)} \times (31 - (-15))$$

$$\times 0.25$$

$$Q_{op} = 4009.06 \text{ W}$$

$$Q_{op} = 4 \text{ KW}$$

Pour chambre 4 :

$$\Delta T = 45 - (-18) = 63 \text{ C}^\circ$$

$$\rho_{ae} = 1.2 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{aa} = 1.35 \text{ kg/m}^3$$

$$h_{ae} = 31 \text{ kj/kg}$$

$$h_{aa} = -15 \text{ kj/kg}$$

$$l_p = 2.5 \text{ m}$$

$$h_p = 2.5 \text{ m}$$

$$Cr = 0.25$$

Calcule la capacite de stockage:

$$C = A \times h \times de \times \eta^\circ$$

Avec :

$$A = 137.4 \text{ m}^2$$

$$h = 3 \times 0.8 = 2.4 \text{ m}$$

$$de = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta^\circ = 0.7$$

$$C = 137.4 \times 2.4 \times 350 \times 0.7$$

$$C = 80.79 \text{ t/j}$$

$$fj = C \times 25\%$$

$$fj = 80.79 \times 0.25 = 20.19 \text{ tonnes/jour}$$

Calcule touv :

$$t_{ouv} = \frac{dt \times f_j}{24}$$

$$dt = 15$$

$$t_{ouv} = \frac{15 \times 20.19}{24} = 12.61 \text{ t/j}$$

$$Q_{op} = [8 + (0.067 \times 63)] \times 12.61 \times 1.35 \times 2.5 \times 2.5 \times \sqrt{2.5 \times \left(1 - \frac{1.2}{1.35}\right)} \times (31 - (-15)) \times 0.25$$

$$Q_{op} = 8074.71 \text{ W}$$

$$Q_{op} = 8.07 \text{ kW}$$

III.5.2. calcul des charges internes :

III.5.2.1. charges thermiques indépendantes des denrées :

III.5.2.1.1. charges thermiques due a l'éclairage :

$$Q_{ec} = \frac{n \times p \times t}{24}$$

Chambre 1 :

$$\text{On calcule } n : n = \frac{6 \times S}{P}$$

$$S = 255 \text{ m}^2$$

$$P = 40 \text{ w}$$

$$\text{Donc : } n = \frac{6 \times 255}{40} = 38.25$$

$$n = 38 \text{ lampe}$$

$$\text{Donc : } Q_{ec} = \frac{38 \times 40 \times 8}{24} = 506.66 \text{ W}$$

$$Q_{ec} = 0.5 \text{ kW}$$

Chambre 2:

$$S = 80 \text{ m}^2$$

$$P = 40 \text{ w}$$

$$n = \frac{6 \times 80}{40} = 12 \text{ lampes}$$

$$\text{Donc : } Q_{ec} = \frac{12 \times 40 \times 8}{24} = 160 \text{ w}$$

$$Q_{ec} = 0.16 \text{ kW}$$

Chambre 3 :

$$Q_{ec} = 0.16 \text{ kW (la même s avec la chambre 2)}$$

Chambre 4:

$$S = 137.4 \text{ m}^2$$

$$P = 40 \text{ w}$$

$$n = \frac{6 \times 137.4}{40} = 20 \text{ lampes}$$

$$\text{Donc : } Q_{ec} = \frac{20 \times 40 \times 8}{24} = 266.6 \text{ w}$$

$$Q_{ec} = 0.26 \text{ kW}$$

III.5.2.1.2.charges thermiques due aux personnes :

$$Q_{per} = \frac{n \times q_p \times t}{24}$$

t : durée de présence de chaque personne dans la chambre froide en h/j, on prend en générale t=8h/j

Chambre 1 :

n= 2 personnes

$$qp = 240 \text{ w}$$

$$t = 8h/j$$

$$\text{Donc : } Qpe = \frac{2 \times 240 \times 8}{24} = 160 \text{ w}$$

$$Qpe = 0.16kw$$

Chambre 2 :

n= 2 personnes

$$qp = 330 \text{ w}$$

$$t = 8h/j$$

$$\text{Donc : } Qpe = \frac{2 \times 330 \times 8}{24} = 220 \text{ w}$$

$$Qpe = 0.22kw$$

Chambre 3 :

n= 2 personnes

$$qp = 390 \text{ w}$$

$$t = 8h/j$$

$$\text{Donc : } Qpe = \frac{2 \times 390 \times 8}{24} = 260 \text{ w}$$

$$Qpe = 0.26kw$$

Chambre 4 :

$Qpe = 0.26kw$ (la même qp avec chambre 3)

III.5.2.1.3. Charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs :

$$Qvent = \frac{n \times p \times tven}{24}$$

On a:

$$n = 2$$

$$p = 1200 \text{ w}$$

$$t_{ven} = 24h/j$$

$$\text{Donc: } Q_{vent} = \frac{2 \times 1200 \times 24}{24} = 2400w$$

$$Q_{vent} = 2.4 \text{ kw}$$

III.5.2.1.4. Charge thermique due aux résistances de dégivrage :

$$Q_{deg} = \frac{p \times t_{deg}}{t_{ist}}$$

On a:

$$P = 13200 \text{ W}$$

$$t_{deg} = 2h/j$$

$$t_{ist} = 24h$$

$$\text{Donc: } Q_{deg} = \frac{13200 \times 2}{24} = 1100 \text{ w}$$

$$Q_{deg} = 1.1 \text{ kw}$$

III.5.2.2. charges thermiques dépendantes des denrées :

III.5.2.2.1. charges thermiques due aux denrées entrantes :

$$Q_{de} = \frac{m \times c_p \times \Delta T}{86400}$$

Pour la chambre 1 :

On a:

$$\Delta T = 18 - 5 = 13$$

$$m = 18623.06 \text{ kg}$$

$$c_p = 3.64 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Donc: } Q_{de} = \frac{18623.06 \times 3.64 \times 13}{86400} = 10.19 \text{ kW}$$

Pour la chambre 2 :

$$\Delta T = 18 - (-9) = 27$$

$$m = 18623.06 \text{ kg}$$

$$c_p = 1.88 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Donc: } Q_{de} = \frac{18623.06 \times 1.88 \times 27}{86400} = 10.47 \text{ kW}$$

Pour les chambres 3 et 4 :

$$\Delta T = 18 - (-18) = 36$$

$$m = 18623.06 \text{ kg}$$

$$c_p = 1.76 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Donc: } Q_{de} = \frac{18623.06 \times 1.76 \times 36}{86400} = 13.65 \text{ kW}$$

III.5.2.2. charge thermiques due a la respiration des denrées :

$$Q_{res} = \frac{m \times q_{res}}{86400}$$

On a:

$$m = 18623.06 \text{ kg}$$

$$q_{res} = 0.42 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Donc: } Q_{res} = \frac{18623.04 \times 0.42}{86400} = 0.09 \text{ kW}$$

$$Q_{res} = 0.1 \text{ kW}$$

✓ **tableau récapitulatif des charges thermiques des chambres :**

	Chambre 1	Chambre 2	Chambre 3	Chambre 4
Q_{tr}	0.67	0.61	0.55	1.27
Q_{re}	1.45	0.91	1.01	1.35
Q_{op}	1.23	2.60	4	8.07
Q_{ec}	0.5	0.16	0.16	0.26
Q_{per}	0.16	0.22	0.26	0.26
Q_{ven}	2.4	2.4	2.4	2.4
deg	1.1	1.1	1.1	1.1
Q_{de}	10.19	10.47	13.65	13.65
Q_{res}	0.1	0.1	0.1	0.1
Q_{tot}	17.8	18.47	23.13	28.36

Tableau III.5 : les charges thermiques des quatre chambres et la charge totale de chaque chambre

III.6.L'influence de température extérieur sur les apports calorifiques :

On a généralisé les calculs pour plusieurs températures pour voir l'influence du changement de température extérieur sur les apports thermiques et on trace les résultats sur la figure III.7.

	45	40	35	30	25
Chambre 1	17.8	17.66	17.35	16.86	16.39
Chambre 2	18.47	18.33	18.26	18.09	17.93
Chambre 3	23.13	23.05	23.03	22.84	22.7
Chambre 4	28.36	27.99	27.74	27.23	26.8
Qtotale	87.76	87.03	86.38	84.58	83.82

Tableau III.6 : l'influence de température externe sur les charges thermiques

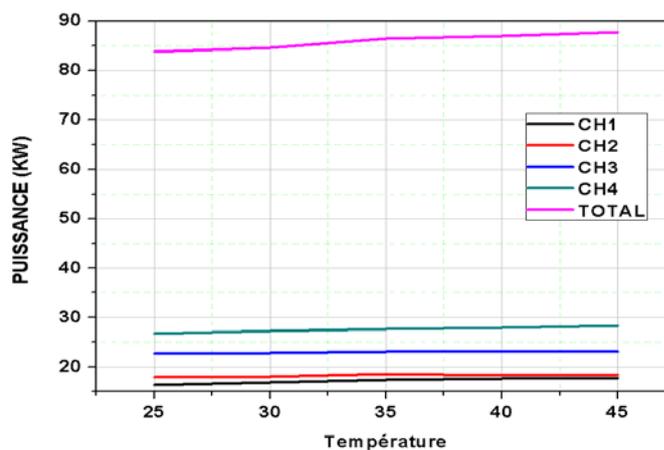


Figure III.2 : l'influence de température sur les apports calorifiques

On générale la puissance frigorifique augmente avec l'augmentation des températures extérieurs.

Et on illustre la puissance global pour l'installation centrale (au choix).

Chapitre VI

Calcul des

paramètres

énergétiques

Le but de ce chapitre c'est les calculs de bilan énergétique et la performance ainsi que l'influence des températures extérieures sur ces paramètres pour les quatre chambres froides qu'il avait des apports calorifiques calculé dans le chapitre précédent.

IV.1.Rappel thermodynamique :

Le cycle de réfrigération et de production de froid c'est le cycle de Carnot inverse qui constitue de deux évolutions isotherme réversibles et de deux évolutions adiabatique également réversibles.

Ce cycle écrit dans un diagramme entropique dont les axes de coordonnées sont l'entropie et la température.

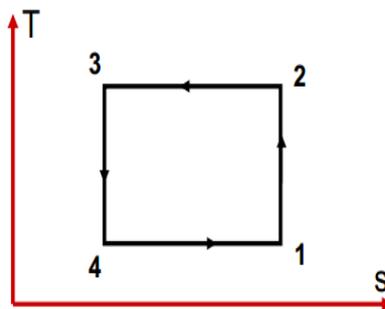


Figure IV.1 : cycle de Carnot de production de froid

D'après le premier et le deuxième principe de la thermodynamique on peut calculer le coefficient de performance C.O.P:

1^{ère} principe donne :

$$Q_f - Q_c + W = 0 \quad (\text{IV.1})$$

2^{ème} principe donne:

$$\frac{Q_f}{T_f} - \frac{Q_c}{T_c} = 0 \quad (\text{IV.2})$$

Comme définition, le COP idéal de Carnot est le rapport entre les apports calorifique utilisé (chauffage ou climatisation) et le travail consommé alors :

$$COP = \frac{Q_f}{W} = \frac{T_f}{T_c - T_f} \quad (\text{IV.3})$$

IV.1.3. le cycle frigorifique réel:

Le cycle réel ou le cycle de Carnot inverse modifié, la modification concernant à l'entrée de compresseur en chauffé la température de vapeur-surchauffé et le détendeur en refroidir la température de l'entré. Comme illustré l'image de la figure IV.3 (droite)

Le cycle est tracé sur un diagramme P-h appelé aussi le diagramme de Mollier, il permet de comprendre le cycle frigorifique et de suivre l'évolution du fluide au cours de chaque transformation, on part d'un état initiale d'un fluide a un état final en déterminant la différente enthalpie.

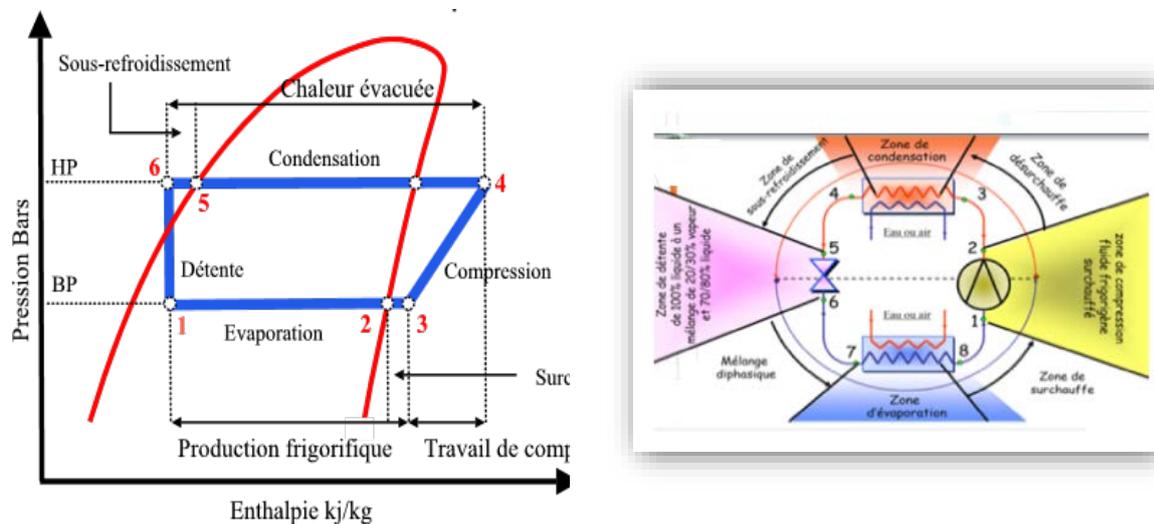


Figure IV.3 : diagramme enthalpique de cycle frigorifique [17]

Entre 1 et 2: évaporation du fluide frigorigène liquide à basse pression qui devient des vapeurs de fluide frigorigène (BP).

Entre 2 et 3 : surchauffe des vapeurs de fluide frigorigène (BP).

Entre 3 et 4 : compression des vapeurs de fluide frigorigène qui passent d'un niveau de basse pression (BP) à un niveau de haute pression (HP).

Entre 4 et 5: condensation des vapeurs de fluide frigorigène (HP) qui deviennent du FF liquide (HP).

Entre 5 et 6: sous refroidissement du fluide frigorigène liquide (HP).

Entre 6 et 1 : détente du fluide frigorigène liquide (HP) qui devient un mélange de liquide (BP) et d'une faible quantité de vapeurs (BP).

Le cycle frigorifique de référence (cycle pratique) permet d'effectuer l'étude et le dimensionnement des machines frigorifique avec une précision acceptable. [16]

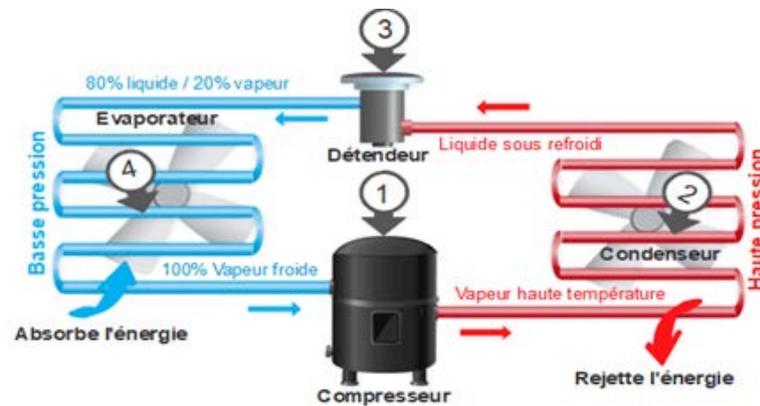


Figure IV.4 : fonctionnement du circuit frigorifique [11]

IV.2. Calcul le bilan énergétique :

De même manière de cycle de Carnot idéal on applique les principes de thermodynamique pour déterminé les paramètres de cycle frigorifique, alors on écrit le bilan énergétique pour chaque composant.

IV.1.2. Bilan énergétique:

➤ Pour l'évaporateur :

Comme-ci l'apport calorifique \dot{Q}_f est donné alors notre inconnu est le débit massique de cycle frigorifique ; est calculé comme suit :

$$\dot{Q}_f + \dot{m}(h_4 - h_1) = 0 \Rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{Q}_f}{h_1 - h_4} \quad (\text{IV.4})$$

➤ Pour le compresseur

En intéresse sur la puissance réelle du compresseur avec un rendement choisi $\eta=80\%$ alors :

$$\dot{W} + \dot{m}(h_1 - h_2) = 0 \Rightarrow \dot{W} = \dot{m} \times (h_2 - h_1)$$

$$\text{Pour } \eta=80\% \quad \dot{W}_{\text{réel}} = \dot{W} / \eta \quad (\text{IV.5})$$

➤ **Pour le condenseur :**

On calcule la chaleur dégagée vers le milieu externe comme :

$$Q_c + \dot{m}(h_2 - h_3) = 0 \Rightarrow Q_c = \dot{m}(h_3 - h_2) \quad (\text{IV.6})$$

➤ **Pour le détendeur :**

La détente se fait sans travail (détente isenthalpique) alors :

$$\dot{m}(h_3 - h_4) = 0 \Rightarrow h_3 = h_4 \quad (\text{IV.7})$$

On a fait notre calcul manuel et on a vérifié par le logiciel de solkane4.0.

IV.2.1. Chambre 1 :

Les données sont :

La température de condensation $T_c = 55^\circ\text{C}$, La température d'évaporation $T_f = 5^\circ\text{C}$, l'apport frigorifique $Q_f = 17.8 \text{ kW}$, la différence de température de surchauffe $\Delta T_{\text{sur}} = 7^\circ\text{C}$, la différence de température de sous-refroidissement $\Delta T_{\text{ref}} = 10^\circ\text{C}$.

On a tracé le cycle sur le diagramme P-h comme montré dans la figure IV.5.

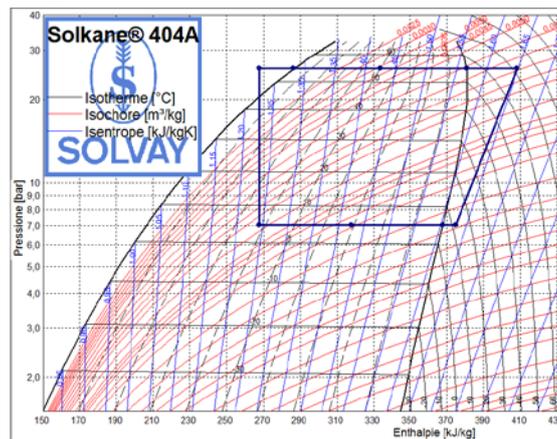


Figure IV.5 : diagramme enthalpique de chambre 1

Les valeurs des enthalpies sont prises et illustres dans le tableau, après on a déterminé le bilan énergétique comme suit.

point	H (kJ/kg)	s (kJ/kg.k)
1	374.79	1.62
2	408.34	1.64
3	408.34	1.64
4	267.91	1.22

➤ le débit massique :

$$Q_f = \dot{m} \times (h_1 - h_4)$$

$$\text{Donc } \dot{m} = \frac{Q_f}{h_1 - h_4}$$

$$\dot{m} = 166.54 \text{ g/s} = 0.16 \text{ kg/s}$$

➤ puissance de compresseur :

$$P = \frac{\dot{m}(h_2 - h_1)}{\eta} \Rightarrow P = 5.59 \text{ kW}$$

➤ puissance de condenseur :

$$\dot{Q}_c = \dot{m} \times (h_3 - h_2) \Rightarrow \dot{Q}_c = 23.39 \text{ kW}$$

➤ le COP :

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \Rightarrow COP = 3.19$$

IV.2.2. Chambre 2 :

Les données sont :

$$T_c = 55^\circ\text{C}, T_f = -9^\circ\text{C}, Q_f = 18.47 \text{ kW}, \Delta T_{sur} = 7^\circ\text{C}, \Delta T_{ref} = 10^\circ\text{C}$$

Point	H (kJ/kg)	s (kJ/kg.k)
1	367.13	1.63
2	412.80	1.66
3	412.80	1.66
4	267.91	1.22

➤ le débit massique :

$$Q_f = \dot{m} \times (h_1 - h_4)$$

Donc $\dot{m} = \frac{Q_f}{h_1 - h_4}$

$\dot{m} = 186.15 \text{ g/s} = 0.18 \text{ kg/s}$

➤ puissance de compresseur :

$P = \frac{\dot{m} \times (h_2 - h_1)}{\eta}$ $P = 8.50 \text{ kW}$

➤ puissance de condenseur :

$Q_c = \dot{m} \times (h_3 - h_2)$ $Q_c = 26.97 \text{ KW}$

➤ le COP :

$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$ $COP = 2.17$

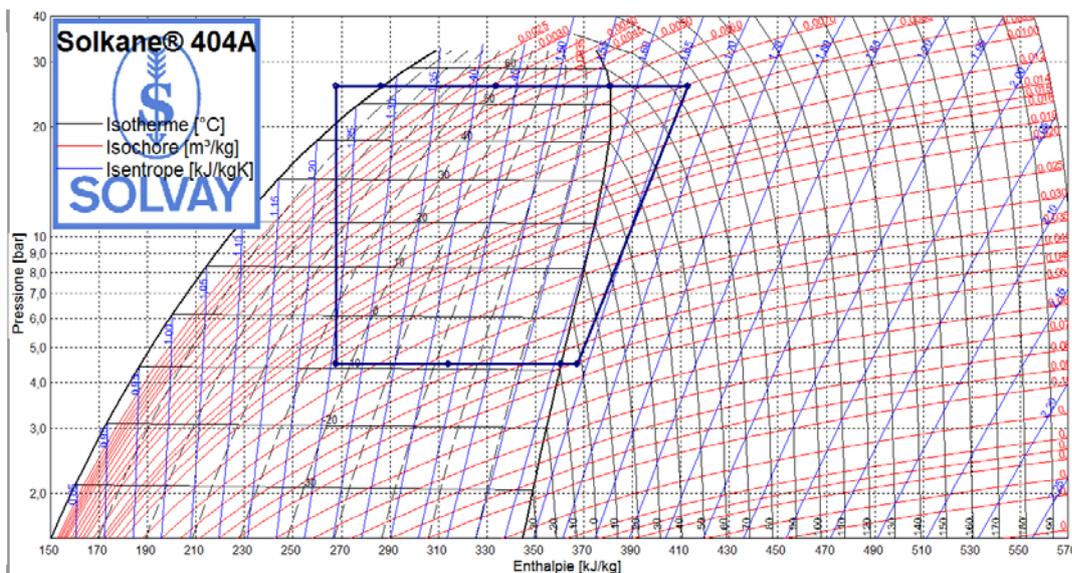


Figure IV.6 : le diagramme enthalpique de la chambre 2

IV.2.3. Chambre 3 :

Les données sont :

$T_c = 55^\circ\text{C}, T_f = -18^\circ\text{C}, Q_f = 23.13 \text{ kW}, \Delta T_{sur} = 7^\circ\text{C}, \Delta T_{ref} = 10^\circ\text{C}$

Point	H (kJ/kg)	s (kJ/kg.k)
1	361.90	1.64
2	416.24	1.67
3	416.24	1.67
4	267.91	1.22

➤ **le débit massique :**

$$Q_f = \dot{m} \times (h_1 - h_4)$$

$$\text{Donc } \dot{m} = \frac{Q_f}{h_1 - h_4}$$

$$\dot{m} = 246 \text{ g/s} = 0.24 \text{ kg/s}$$

➤ **puissance de compresseur :**

$$P = \frac{\dot{m} \times (h_2 - h_1)}{\eta}$$

$$P = 13.36 \text{ kW}$$

➤ **puissance de condenseur :**

$$Q_c = \dot{m} \times (h_3 - h_2)$$

$$Q_c = 36.49 \text{ kW}$$

➤ **le COP :**

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$COP = 1.73$$

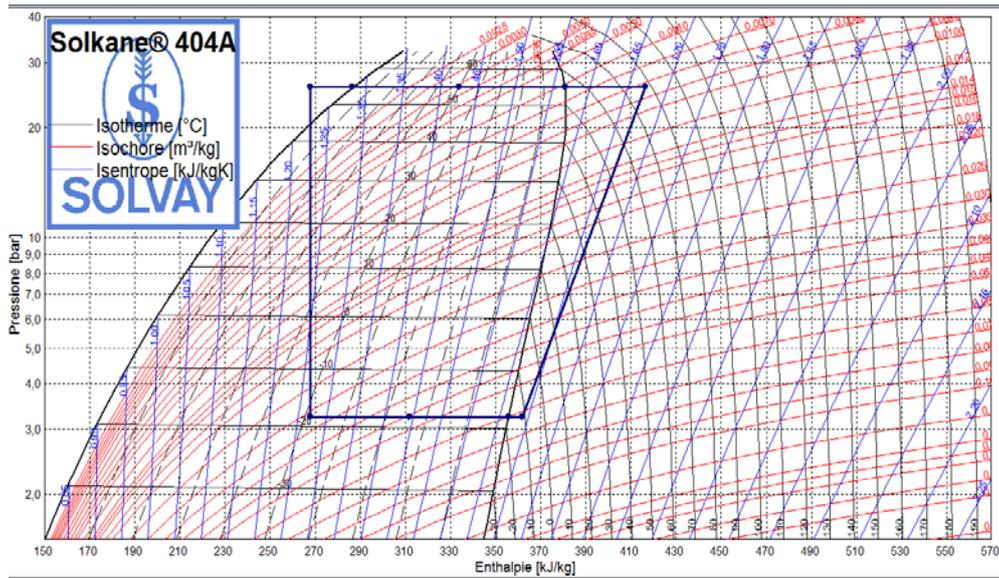


Figure IV.7 : le diagramme enthalpique de la chambre 3

IV.2.4. Chambre 4 :

Les données sont :

$$T_c = 55^{\circ}\text{C}, T_f = -18^{\circ}\text{C}, Q_f = 28.36 \text{ kW}, \Delta T_{sur} = 7^{\circ}\text{C}, \Delta T_{ref} = 10^{\circ}\text{C}$$

Point	H (kJ/kg)	s (kJ/kg.k)
1	361.93	1.64
2	416.24	1.67
3	416.24	1.67
4	267.91	1.22

➤ le débit massique :

$$Q_f = \dot{m} \times (h_1 - h_4)$$

$$\text{Donc } \dot{m} = \frac{Q_f}{h_1 - h_4}$$

$$\dot{m} = 301.62 \text{ g/s} = 0.30 \text{ kg/s}$$

➤ puissance de compresseur :

$$P = \frac{\dot{m} \times (h_2 - h_1)}{\eta}$$

$$P = 16.38 \text{ kW}$$

➤ puissance de condenseur :

$$Q_c = \dot{m} \times (h_3 - h_2)$$

$$Q_c = 44.74 \text{ kw}$$

➤ le COP :

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$COP = 1.73$$

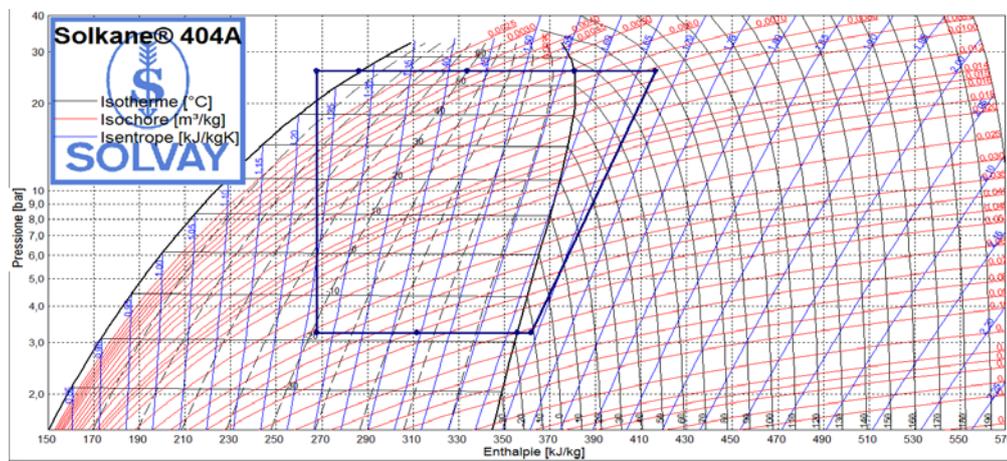


Figure IV.8 : le diagramme enthalpique de la chambre 4

➤ L'influence de température externe sur les apports calorifiques :

On a généralisé les calculs pour des différentes températures pour voir l'influence du changement de température sur chaque paramètre dans nos calculs et on a trouvé les résultats suivants :

➤ Pour Q_c :

	25	30	35	40	45
Chambre 1	18.90	20	21.21	22.34	23.39
Chambre 2	22.46	23.41	24.49	25.58	26.97
Chambre 3	30.20	31.49	33.04	34.56	36.49
Chambre 4	35.65	37.55	39.79	41.97	44.74

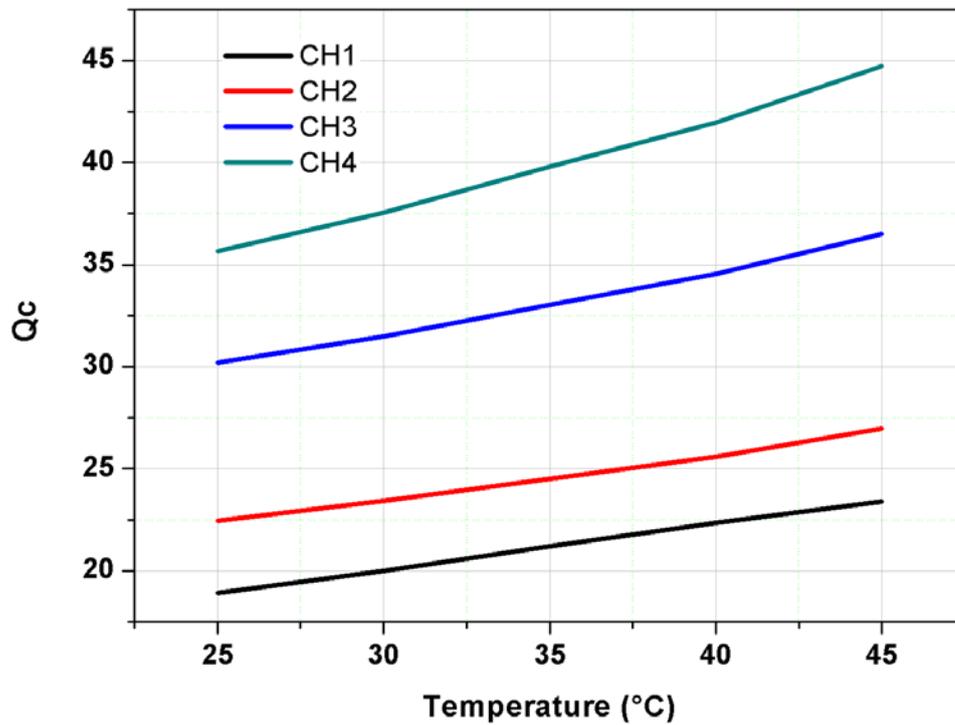


Figure IV.9 : changement de Q_c en fonction de température

➤ Pour la puissance du compresseur P :

	25	30	35	40	45
Chambre 1	2.51	3.14	3.87	4.68	5.59
Chambre 2	4.53	5.32	6.23	7.25	8.50
Chambre 3	7.50	8.65	10.01	11.51	13.36
Chambre 4	8.85	10.32	12.05	13.98	16.38

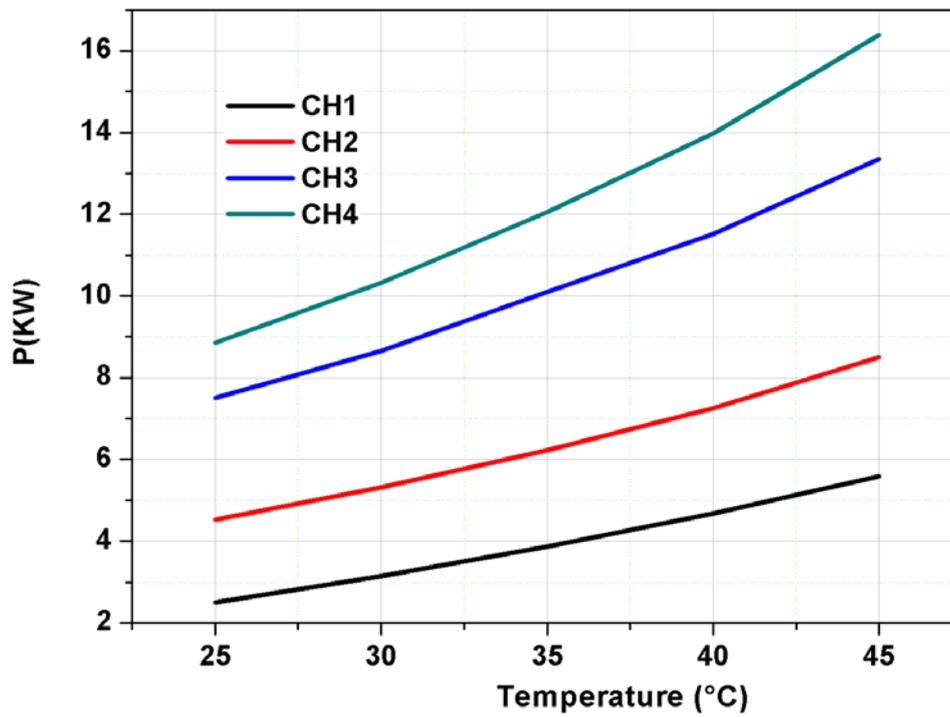


Figure IV.10 : changement de P en fonction de la température

➤ Pour le COP :

	25	30	35	40	45
Chambre 1	6.53	5.38	4.49	3.78	3.19
Chambre 2	3.96	3.40	2.93	2.53	2.17
Chambre 3	3.03	2.64	2.30	2	1.73
Chambre 4	3.03	2.64	2.30	2	1.73

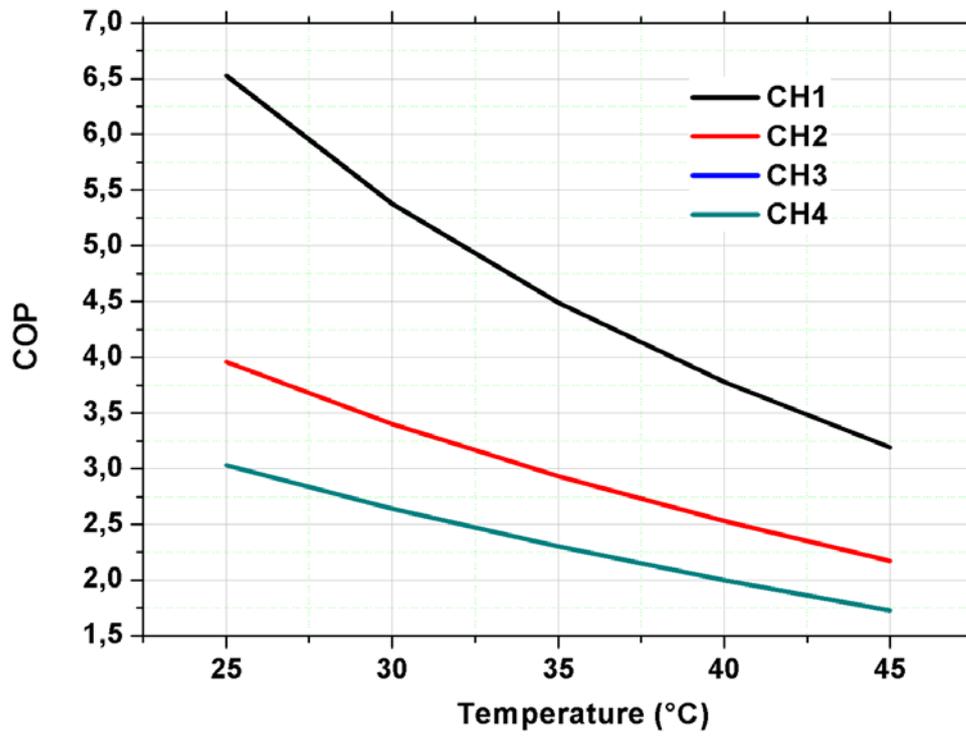


Figure IV.11 : changement du COP en fonction de température

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail on a eu une vue générale sur les chambres froides et les différents organes qui les contiennent.

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

On a remarqué qu'il y a une relation entre le changement de la température extérieure et les différents paramètres comme la puissance du compresseur et le COP et la chaleur dégagée par le condenseur et aussi la puissance frigorifique.

On note qu'il y a une relation proportionnelle entre le changement de la température et le travail du compresseur et aussi avec la chaleur dégagée, plus la température est élevée, plus le travail et la chaleur dégagée augmentent.

Aussi il y a une relation inverse avec le COP et la puissance frigorifique, à chaque fois la température extérieure augmente, il y a une diminution de ces deux derniers paramètres.

Références

Bibliographiques

- [1] site internet : [www .explorateurs-energie.com](http://www.explorateurs-energie.com).
- [2] Nouar Ahmed, *Contribution à L'étude des Propriétés Physiques des Chalcopyrites CuGa X2(X= S, Se) par La méthode LMTO*, mémoire de magister en physique, université des sciences et de la technologie «Mohamed Boudiaf» d'Oran, 2015.
- [3] HADJ BELKACEMI Mohammed, *Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé*, Mémoire de magistère, Université ABB de Tlemcen, 2011
- [4] Melle Hamel Khalissa, cour le climat, université de Biskra, site internet : ar.univ-biskra.dz, 2009/2010
- [5] Hadja GUEDAOURIA *Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour alimenter le laboratoire LPDS au sien de l'université de Béchar* Année Universitaire Université Tahri Mohammed Bechar, 2017
- [6] Othmane benseddik Fathi djaloud, *étude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque*, université kasdi merbah Ouargla, juin 2012.
- [7] Touil Nacer Eddine, Ghenbazi Slimane, *Modélisation et Simulation d'un Système Photovoltaïque*, Université Echahid Hama Lakhder d'El-Oued, Septembre 2015
- [8] Benyettou mohamed, Bouklikha abdellah, *Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie*, mémoire de master, université de tlemcen, 2017
- [9] site internet : www.climatsetvoyages.com visite le 17/9/2018
- [10] site internet : www.meteoblue.com visite le 17/9/2018
- [11] site internet : www.abcclim.net visite le 17/9/2018
- [12] Marie Claude loctie, cours générales le froid, cours industriels, 2007 bruxcel, Belgique
- [13] site internet : climatisatio.blogspot.com
- [14] Othman jaber, *chambre froide*, institut des sciences appliquées et économiques centre du liban associe au CNAM, juillet 2013.
- [15] Mohammed youbi idrissi, *cours technique du froid et composants frigorifiques* 2006
- [16] site internet : www.bernardbertaud.fr
- [17] Djadi kamilia, Toudert saousene, caractérisation et conception d'un système de réfrigération, juin 2015

- [18] <http://mediwatt.com> visite le 17/9/2018
- [19] <https://fr.weatherspark.com> visite le 17/9/2018
- [20] <https://geomondiale.fr> visite le 18/9/2018
- [21] jean desmons, aide-mémoire, froid industriel