

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de RELIZANE
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département :Génie mécanique



جامعة أحمد زبانة - غليزان
Ahmed Zabana Relizane University

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

Energétique

Intitulé

TRANSFORMATION D'UN CONTENEUR EN UNE
CHAMBRE FROIDE

Présenté par :

Mr : NEGGACH Mohamed

Mr : BENSALÉM Tahar

Devant les membres de jury :

Président : Mr BENDAOUDI Seifeddine

Professeur

(U. Relizane)

Encadreur : Mr ZAHI Rachid

Professeur

(U. Relizane)

Examineur : Mr BOUAMRA Messaoud

Maître de conférence (B)

(U. Relizane)

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Je remercie avant tout, Allah qui m'a éclairer la bonne voie et m'a aider à la parcourir.

Mes plus sincères remerciements vont également à mon encadreur Monsieur le Professeur ZAHY RACHID pour la qualité de son encadrement et ses encouragements qui ont été indispensables pour garder le moral dans les moments les plus compliqués .

Enfin, à tous ceux et celles qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail, Je vous dis merci.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*Cher papa qui était compagnon dans ma vie et chère mère la
chose la plus précieuse que je possède.*

*Je leur remercie vivement pour leur soutien et leur
Encouragement durant toute ma carrière d'étude,*

Mes sœurs,

Toute ma grande famille,

Toute mes amies et mes proches.

Tous les étudiants de Génie Mécanique.

*Tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près durant les moments
difficiles.*

Toute personne qui m'aime et je l'aime.

Table des matières

Introduction générales	1
Chapitre I: Généralités sur les chambres froid	
I.1 Introduction	4
I.1.1 Définition d'une chambre froide	4
I.1.2 Histoire : origine et évolution	5
I.1.3 Type d'une chambre froide	7
I.1.3.1 Les chambres froides positives	7
I.1.3.2 Les chambres froides négatives	7
I.1.2 Composants des chambres froides	7
I.1.2.1 Mur d'isolation thermique	7
I.1.2.2 Système de refroidissement	8
I.1.2.3 Système électrique	8
I.1.2.4 Système de ventilation	8
I.1.3 Importance des chambres froides	9
I.2 Les Trois Techniques de Froid	9
I.2.1 Le froid par compression de vapeur	10
I.2.2 Froid par absorption	10
I.2.2.1 Principe de Fonctionnement	10
I.2.2.2 Applications Spécifiques	11
I.2.3 Froid Thermoélectrique	11
I.2.3.1 Principe de Fonctionnement	11
I.2.3.2 Applications Spécifiques	12
I.2.4 Comparaison des trois techniques	12
I.3 Généralités sur les Machines Frigorifiques	13
I.3.1 Définition	13
I.3.2 Composants les Machines Frigorifiques	13
I.3.2.1 Le compresseur	13
I.3.2.2 Le condenseur	13
I.3.2.3 Le détendeur	13
I.3.2.4 L'évaporateur	14
I.3.3 Le fluide frigorigène	14
I.4 Principe de Fonctionnement	15
I.4.1 Cycle thermodynamique	15
I.4.2 Cycle idéal	15
I.4.2.1 Historique de cycle Carnot	15
I.4.2.2 Transformations cycle froid idéal	15
I.4.3 Cycle réel	16
I.4.3.1 Transformations cycle froid réel	16
Chapitre II : Conteneur et chambre froid	
II.1 Conteneur	20
II.1.1 Définition	20
II.1.2 Importance	20

II.1.3	Type	21
II.1.4	La pollution	23
II.1.5	Recyclage des conteneurs	24
II.2	Étapes pour transformer un conteneur en chambre froide	25
II.2.1	Sélectionnez un conteneur	25
II.2.2	Contrôle qualité	25
II.2.3	Pose de l'isolation thermique	25
II.2.4	Modifier la porte du conteneur	27
II.2.5	Installation du système de refroidissement	27
II.2.6	Installation du système électrique	27
II.3	Exemples de transformation de conteneurs en chambres froides	27
II.4	Conclusion	29

Chapitre III : Calcul de l'isolation thermique

III.1	Introduction.....	31
III.2	Description de notre projet.....	31
III.3	Les caractéristiques de ce conteneur.....	31
III.4	Fiche Technique – Conteneur 20 Pieds.....	31
III.4.1	Les différents surfaces de ce chambre.....	32
III.5	Transfert thermique.....	32
III.6	Pose d'isolation.....	33
III.7	Calcul de coefficient globale K.....	35
III.8	Le tonnage.....	37
III.8.1	Le volume utile.....	37
III.8.2	Calcule la contenance de chambre froide.....	37
III.9	Conclusion.....	38

Chapitre IV : Calculer la charge thermique

IV.1	Introduction.....	40
IV.2	Les charges thermiques externes.....	40
IV.3	Les charges thermiques internes.....	41
IV.4	Calcul de charges thermiques externes	41
IV.4.1	Les parois Q_{parois}	41
IV.4.2	Le renouvellement d'air Q_{re}	44
IV.4.3	Ouvrir la porte.....	47
IV.4.4	La solaire.....	48
IV.5	Calcul de charges thermiques internes	49
IV.5.1	Due à l'éclairage.....	49
IV.5.2	Due aux personnes.....	49
IV.5.3	Due aux denrées entrantes Q_{de}	50
IV.5.4	Due aux matériels roulants et des machines diverses.....	51
IV.6	Les charges thermiques totale.....	51
IV.7	Puissance frigorifiques intermédiaires.....	51
IV.8	Puissance frigorifiques prévisionnelle.....	52
IV.9	Conclusion.....	52

Chapitre V : Modélisation et optimisation

V.1	Introduction.....	54
V.2	La simulation.....	54
V.3	COP.....	54
V.4	Calculer la température dans chaque composant.....	54
V.4.1	La température de l'évaporateur.....	55
V.4.2	La température de condensation.....	55
V.5	Utiliser la simulation.....	55
V.6	Résultats de simulation.....	57
V.7	Choisir les composants.....	58
V.7.1	compresseur et condenseur.....	58
V.7.2	Détendeur.....	60
V.7.3	Evaporateur.....	60
V.8	Conclusion.....	62
	Conclusion générale.....	63

Liste des figures

Figure I.1 : chambre froid	5
Figure I.2 : chambre froid (Première Guerre mondiale)	6
Figure I.3 : Composant général par chambre froid	8
Figure I.4 : Cycle froid par absorption	10
Figure I.5 : Diagramme d'un générateur thermoélectrique	11
Figure I.6 : Composant un machine Frigorifique	14
Figure I.7 : cycle thermodynamique froid (ideal)	16
Figure I.8 : cycle thermodynamique froid (real)	17
Figure II.1 : Conteneur Maritime 20 Pieds	20
Figure II.2 : Conteneur avec mur isolé	22
Figure II.3 : Le conteneur frigorifique	23
Figure II.4 : Vieux conteneurs	24
Figure II-5 : Le panneau sandwich frigorifique	26
Figure III.1 : Les 3 modes de transfert thermique.....	32
Figure III.2 : Fiche technique sur le panneau sandwich frigorifique.....	33
Figure III.3 : Conteneur recouvert de panneaux isolants.....	35
Figure IV.1 : La charge thermique d'une installation de production.....	40
Figure V.1 : Les valeur d'état a chaque points	56
Figure V.2 : Les puissances.....	56
Figure V.3 : Diagramme P.h.....	57
Figure V.4 : Diagramme T.S.....	57
Figure V.5 : Logiciel BITZER SOFTWARE.....	58
Figure V.6 : La groupe condensation LH64E/4EES-4Y	59
Figure V.7 : logiciel COOLSELCTOR2.....	60
Figure V.8 : détendeur thermostatiques TGE 10 – 6.....	60
Figure V.9 : logiciel AIA CALC LU-VE.....	61
Figure V.10 : Evaporateur 3 ventilateurs.....	61

Listes des tableaux

Tableau I.1 : Comparaison des trois techniques	12
Tableau I.2 : Les différentes caractéristiques du fluide en cycle real	18
Tableau III.1 : Conteneur 20 Pieds (Dimension).....	31
Tableau III.2 : Conteneur 20 Pieds (Surfaces).....	32
Tableau III.3 : Le planchier (Sol) composant.....	34
Tableau III.4 : le plafond composant.....	34
Tableau III.5 : La porte composant.....	34
Tableau III.6 : Les parois composant.....	34
Tableau VI-1 : Les données logiciels daikin.....	44
Tableau VI-2 : Quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne en activité moyenne dans une chambre froide.....	50

Nomenclature

T	Température	°C
Hr	Humidité relative	%
L	Longueur	m
I	Largueur	m
H	Hauteur	m
S	Surface	m ²
V	Volume	m ³
C	Contenance de la chambre froide	Kg
d_e	Densité d'entreposage	Kg / m ³
η₀	Coefficient d'occupation au sol des marchandises	%
Q	Chaleur transmise or Flux de chaleur	W
λ	Coefficient de conductivité thermique	W/m. °C
e	Epaisseur de la paroi	m
T_{int}	Température intérieure (froid)	°C
T_{ext}	Température extérieure (milieu externe)	°C
h	Coefficient de transfert thermique par convection	W/m ² .k
J	Coefficient de rayonnement du corps considéré	W/m ² .K ⁴
Σ	La somme	
K	Le coefficient global d'échange de chaleur	W/m ² .k
Q_p	charge thermique pour les parois	W
Q_{re}	charge thermique par transmission à travers Le renouvellement d'air	W
m'_{ae}	: Débit massique d'air	Kg / s
Δh	Différence d'enthalpie	Kj / Kg
h_{int}	Enthalpie l'air ambiant de la chambre froide	Kj / Kg
h_{ext}	Enthalpie l'air extérieur	Kj / Kg
ρ	Masse volumique	Kg / m ³
v_{ae}	débit- volume d'air extérieur	m ³ / J
n	taux de renouvellement d'air journalier	J ⁻¹
Q_{op}	charge thermique par ouverture des portes	W
ΔT	La variation de température	°C
τ_q	temps d'ouverture des portes exprimé	min / h
C_{ra}	coefficient de minoration dû à la présence éventuelle d'un rideau d'air	
h	Nombre constante approximative	
f_i	Le flux journalier de marchandise	Ton/Jour
d_i	La durée moyenne d'ouverture de portes	
Q_{de}	charge thermique due à l'éclairage	W
p	puissance de chaque luminaire	W
t	durée de fonctionnement	h / J
Q_{per}	charge thermique due aux personnes	W

q_e	quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne en activité	W
n_0	nombre de personnes opérant dans la chambre froide	
Q_{de}	charge thermique due aux denrées entrantes	W
C_1	capacité thermique massique avant congélation des denrées	J/kg °C
Q_s	Charge thermique de solier	W
P_{interm}	Puissance frigorifiques intermédiaires	W
P_{prev}	Puissance frigorifiques prévisionnelle	W
COP	La coefficient de performance	
T_{eva}	La température de l'évaporateur	°C
$\Delta\theta_1$	La variation température entre l'évaporateur et l'intérieur d'un chambre froid	°C
T_{cod}	La température de condensation	°C
$\Delta\theta_2$	La variation température entre milieu extérieur et condenseur	°C
P_{evap}	La puissance de l'évaporateur	W
P_{comp}	La puissance de compresseur	W
P_{cond}	La puissance de condenseur	W

INTRODUCTION GENERALE

Alors que le monde est confronté à des défis environnementaux croissants et que la société et les institutions prennent de plus en plus conscience de ce problème, une catastrophe silencieuse est apparue à laquelle personne ne prête attention : l'accumulation de conteneurs en acier abandonnés. Ces conteneurs ne sont pas inclus dans les systèmes de recyclage ou les programmes de réutilisation systématique, ce qui entraîne une grave crise environnementale et économique qui s'aggrave avec le temps.

Généralement constitués de structures métalliques robustes, souvent en acier au carbone traité, les conteneurs hors service représentent une charge croissante pour les ressources naturelles limitées. Ils ont un impact négatif direct sur la santé humaine et l'environnement, notamment à travers la lixiviation de résidus stockés précédemment et la corrosion progressive de leurs composants métalliques, ce qui peut entraîner une contamination du sol, de l'eau et de l'air. Dans ce contexte environnemental et économique préoccupant, ce projet d'application scientifique propose une solution innovante et pratique : recycler ces conteneurs abandonnés en les transformant en chambres froides destinées à la conservation des denrées alimentaires, notamment les produits casher fabriqués par l'entreprise Belat. Cette démarche vise à valoriser des déchets industriels en fin de vie, en alliant des principes de durabilité environnementale à des solutions d'ingénierie thermique avancées.

L'initiative vise à réduire l'empreinte carbone des conteneurs à usage unique et à augmenter leur valeur en les réutilisant dans des systèmes utiles plutôt que de les laisser vulnérables aux dommages et à la contamination.

Cette recherche approfondie commencera par examiner différents systèmes de refroidissement, analyser leur mécanisme de fonctionnement, comparer leur efficacité, leur consommation d'énergie et leur facilité d'intégration dans la structure du conteneur. Après cet examen minutieux, le système optimal sera sélectionné pour être appliqué dans le conteneur converti, avec une analyse complète de ses principaux et sous-composants, y compris les échangeurs de chaleur, les systèmes d'isolation et les supports de refroidissement.

Afin de concevoir une chambre froide entièrement intégrée capable de fonctionner efficacement dans diverses conditions climatiques, une attention particulière doit être accordée aux conditions de fonctionnement environnementales, telles que la température extérieure, l'humidité et la ventilation ambiante. Le projet se

penchera également sur le processus de sélection des composants électriques et mécaniques appropriés, tels que les moteurs pour entraîner les compresseurs, les ventilateurs pour distribuer uniformément l'air frais et le contrôle intelligent de la température et de l'humidité pour garantir que la qualité des aliments stockés à l'intérieur est maintenue et que les plus hauts niveaux d'efficacité et de durabilité sont atteints.

Chapitre I

Généralités sur les chambres froides

I.1 : Introduction

Dans ce chapitre, nous introduisons le concept de base de la réfrigération, un processus essentiel dans de nombreux domaines, tout en préservant les aliments du changement climatique dans les espaces de vie et de voyage. Nous explorons les physiques de base qui sous-tendent ce phénomène, et en contact avec les lumières mécaniques thermodynamiques qui permettent d'endommager et de maintenir une température environnementale dans la cellule environnementale.

Nous passons souvent en revue les principaux types de systèmes de réfrigération existants, qui présentent des caractéristiques, des avantages et des applications spécifiques. Une certaine attention sera portée à la réfrigération par compression, qui est basée sur la méthode à grande échelle utilisée dans le milieu industriel et domestique. Nous analysons nos fonctions, avec tous les composants, ainsi que les cycles thermodynamiques qui réagissent, en notant le cycle de Carnot et le cycle de réfrigération par compression de vapeur.

I.1.1 : Définition d'une chambre froide

Une chambre froide est un grand espace industriel utilisé pour stocker des denrées périssables et les maintenir à basse température. Cela permet d'évacuer et de refroidir une partie de la chaleur corporelle.

Les chambres froides sont très utiles pour les grandes et moyennes entreprises (restaurants, entrepôts, laboratoires, industrie pétrochimique, industrie agroalimentaire, etc.). Elles permettent de conserver les produits alimentaires en bon état pour une utilisation ultérieure.

Leur avantage est de conserver l'aspect d'origine du produit, évitant ainsi toute perte de couleur, de poids ou de qualité.

Selon le produit transformé, les calculs de stockage frigorifique doivent respecter trois conditions :

- Température
- Humidité relative
- Ventilation

La principale dimension physique étant la température, il existe deux types de chambres froides selon la température de l'air à refroidir : les chambres froides positives et les chambres froides négatives. [1]



Figure I-1 : chambre froid . [2]

I.1.2 : Histoire origine et évolution

On se demande comment conserver les aliments périssables. Il a d'abord commencé à utiliser des méthodes traditionnelles comme la congélation, le séchage et le fumage. On a alors constaté que les aliments récoltés lors de la cueillette et de la chasse se conservaient mieux en hiver qu'en été.

Depuis l'Antiquité, la glace et la neige ont été utilisées pour conserver la viande autrement que par le salage et le fumage. Cette technique de conservation s'est popularisée en France et en Europe au XVI^e siècle. Plus tard, grâce au microscope optique, on a découvert que des températures inférieures à 10 °C inhibaient la croissance microbienne. Ainsi, en 1612, Francis Bacon a été le pionnier de l'utilisation du sel pour conserver les aliments. Ensuite, pendant longtemps, les humains ont tenté de rétablir les températures hivernales en créant de la glace et de la neige.

En 1858, Charles Teller a inventé la première machine frigorifique utilisant de l'ammoniac liquéfié pour produire du froid à usage domestique et industriel.

En 1862, lors de l'Exposition universelle, l'ingénieur français Ferdinand Carré a présenté son invention : une machine qui utilisait la chaleur pour fabriquer de gros glaçons. Il s'agissait du premier modèle destiné à l'utilisation industrielle d'un gaz réfrigérant. Un modèle mobile fut ensuite développé dans le but d'améliorer le confort quotidien des foyers. Le frère de Ferdinand, Edmond Carré, inventa plus tard un appareil permettant de refroidir les bouteilles d'eau ou de vin. L'invention de Charles Teller n'a cessé depuis d'être améliorée.

En effet, la découverte du stockage du froid en 1851 révolutionna l'utilisation de l'éther éthylique, qui était transformé en liquide pour produire du froid, puis en gaz. Cette transformation s'effectue à l'aide d'une pompe aujourd'hui appelée compresseur [3].

Cependant, le méthyléther étant considéré comme très dangereux, deux liquides, l'eau et l'ammoniac, furent utilisés. Ce nouveau procédé, mis au point par Ferdinand Carré et Charles Teller, utilisa la triméthylamine. Ils utilisèrent ensuite d'autres liquides comme réfrigérants : l'ammoniac, le chlorure de méthyle, etc. En 1865, Charles Teller forma le premier gouvernement conservateur. Afin de faire une démonstration aux membres de l'Académie des sciences, il envoya le Frégorique de Rouen à Buenos Aires en 1876, chargé de charbon. Le navire arriva en Argentine après plus de 100 jours en bon état de chargement et les chambres froides étaient équipées de refroidisseurs à absorption.

Bien que la technologie de la réfrigération ait été découverte, la technologie de conservation devait être améliorée.

Des progrès ont été réalisés dans les matériaux permettant l'isolation. Autrefois, le liège était utilisé comme additif à l'acier pour créer un pare-vapeur. Les ouvriers assemblaient ensuite les panneaux de liège à la main. On a fini par remplacer l'orange par un matériau à base de pétrole, mais celui-ci collait toujours au mur. Puis, au milieu du 20^e siècle, les panneaux isolants sont apparus. Cette technique de collecte est toujours utilisée aujourd'hui. Ils sont faciles à transporter, ce qui est important compte tenu de la demande croissante, et offrent de meilleurs coefficients d'isolation[4].



Figure I-2 : chambre froid (Première Guerre mondiale) . [5]

I.1.3 : Type d'une chambre froide

Les chambres froides sont classées en 2 catégories :

I.1.3.1 : Les chambres froides positives

Une chambre froide positive est une chambre froide dont la température est proche de 0 °C, voire légèrement supérieure. La température idéale pour ce type de chambre se situe entre 3 °C et 15 °C, mais elle peut varier selon l'utilisation.

Elle est idéale pour le stockage des produits de cuisine, car la chambre froide préserve leur fraîcheur. On trouve des chambres froides positives dans les cuisines de restaurants, les laboratoires alimentaires (boulangers, bouchers, chefs, etc.), les supermarchés, les garages automobiles, les magasins physiques, etc.

Les calculs de température sont établis pour une chambre froide positive de :

- 10 à 12 °C, en local de préparation froide
- 16 à 20 °C, en local de réserve sèche
- 0 à 8 °C, en chambre de réfrigération
- 6 à 15 °C, en chambre de fruits et légumes
- 9 à 11 °C, en local poubelle

I.1.3.2 : Les chambres froides négatives

La température des chambres froides est inférieure à 0 degré. Généralement, la température dans ces zones avoisine les -18 degrés Celsius. Cependant, elle peut être bien plus basse, jusqu'à -40 °C (congélation).

Une chambre froide négative est idéale pour la congélation des aliments : elle permet à l'eau contenue dans les aliments de se solidifier, ce qui préserve leurs composants et leurs propriétés nutritionnelles.

On trouve des chambres froides passives dans les cuisines professionnelles (restauration rapide, restaurants, etc.), les commerces de bouche (boucherie, poissonnerie, etc.), l'industrie agroalimentaire, l'industrie pharmaceutique, etc. [6]

I.1.2 : Composants des chambres froides

Les composants d'une chambre froide varient selon le type (positive ou négative), mais en général, voici les principaux éléments :

I.1.2.1 : Mur d'isolation thermique

Afin d'éviter que la température de la chambre froide n'augmente, le mur doit être constitué d'un matériau d'isolation thermique empêchant les échanges thermiques, tel que (panneaux métalliques isolants, mur en béton épais, laine, etc.)

I.1.2.2 : Système de refroidissement

En général, le système de refroidissement est le même que le système de réfrigération et se compose de 5 composants de base :

- **Compresseur** : comprime le gaz réfrigérant
- **Condenseur** : refroidit le gaz pour le liquéfier
- **Détendeur** : baisse la pression et la température du fluide
- **Évaporateur** : absorbe la chaleur à l'intérieur de la chambre (froid)
- **Liquide froid** : c'est lui qui circule dans le circuit frigorifique pour capter la chaleur à l'intérieur et la rejeter à l'extérieur.

I.1.2.3 : Système électrique

La source d'alimentation de la chambre de refroidissement est l'énergie électrique. Le système électrique est composé des éléments suivants :

- **Moteur électrique** : La source mécanique qui alimente le compresseur.
- **Capteur de température** : lecture directe de la température.
- **Thermostat** : Un appareil électronique qui contrôle le cycle de refroidissement pour régler la température souhaitée.
- **Fils de connexion** : Fils électriques qui relient les composants électriques.

I.1.2.4 : Système de ventilation

- **Ventilateur** : Distribue la fraîcheur dans toute la pièce réfrigérée et échange l'air intérieur contre de la ventilation.



Figure I-3 : composant général par chambre froid . [7]

I.1.3 : Importance des chambres froides**1. Préservation de la qualité des produits**

- Les chambres froides ralentissent la croissance des bactéries et des champignons, prolongeant ainsi la durée de conservation des aliments, des médicaments et des produits industriels.
- Cela réduit la perte de saveur, de texture et de valeur nutritionnelle des aliments stockés.[8]

2. Sécurité alimentaire et santé publique

- En conservant les produits à basse température, ils contribuent à prévenir la contamination bactérienne et à garantir la sécurité alimentaire.
- Ils sont essentiels au stockage des vaccins et des médicaments nécessitant des températures élevées (par exemple, les vaccins à ARN).[9]

3. Réduction des pertes économiques

- Dans l'industrie agroalimentaire, ils minimisent les pertes financières dues aux produits périmés ou endommagés .
- Dans le secteur médical, ils assurent la protection des échantillons et traitements biologiques sensibles.

4. Conformité aux réglementations sanitaires

- De nombreuses normes internationales imposent des conditions strictes au stockage des denrées périssables (par exemple HACCP pour la sécurité alimentaire et GMP pour l'industrie pharmaceutique).

5. Logistique et transport

- Utilisation de chambres froides mobiles pour la distribution de produits réfrigérés.
- Transport de denrées périssables en conteneurs réfrigérés.

I.2 : Les Trois Techniques de Froid

Le refroidissement peut être obtenu par différentes techniques en fonction des besoins énergétiques et des applications spécifiques. Les trois principales techniques utilisées sont :

- Le froid par compression de vapeur .
- Le froid par absorption .
- Le froid thermoélectrique .

I.2.1 : Le froid par compression de vapeur

Un réfrigérateur à compression de vapeur utilise la condensation de la vapeur d'un liquide réfrigérant après compression et son évaporation après détente. C'est le procédé le plus courant pour produire du froid. Ce principe est similaire à celui des pompes à chaleur..[10]

I.2.2 : Froid par absorption

Cette méthode est principalement utilisée dans les applications qui nécessitent un refroidissement sans électricité, comme les réfrigérateurs à gaz et certains systèmes de climatisation.

I.2.2.1 : Principe de Fonctionnement

L'absorption frigorifique repose sur un cycle thermodynamique où une solution absorbante (souvent de l'eau ou une solution saline) absorbe un réfrigérant (comme l'ammoniac) pour créer du froid. Voici un aperçu simplifié:

- **Évaporation** : Le réfrigérant s'évapore en absorbant de la chaleur de l'environnement, refroidissant ainsi la zone environnante.
- **Absorption** : Le gaz réfrigérant est absorbé par une solution absorbante, formant une solution riche.
- **Pompage** : La solution riche est pompée vers un générateur.
- **Chauffage** : Dans le générateur, la solution riche est chauffée, libérant le réfrigérant gazeux.
- **Condensation** : Le réfrigérant gazeux est refroidi et se condense en liquide.
- **Retour** : Le réfrigérant liquide retourne à l'évaporateur pour recommencer le cycle.

Ce procédé est utilisé dans les systèmes de réfrigération où l'électricité est limitée ou pour des applications spécifiques comme les réfrigérateurs solaires ou industriels. [11]

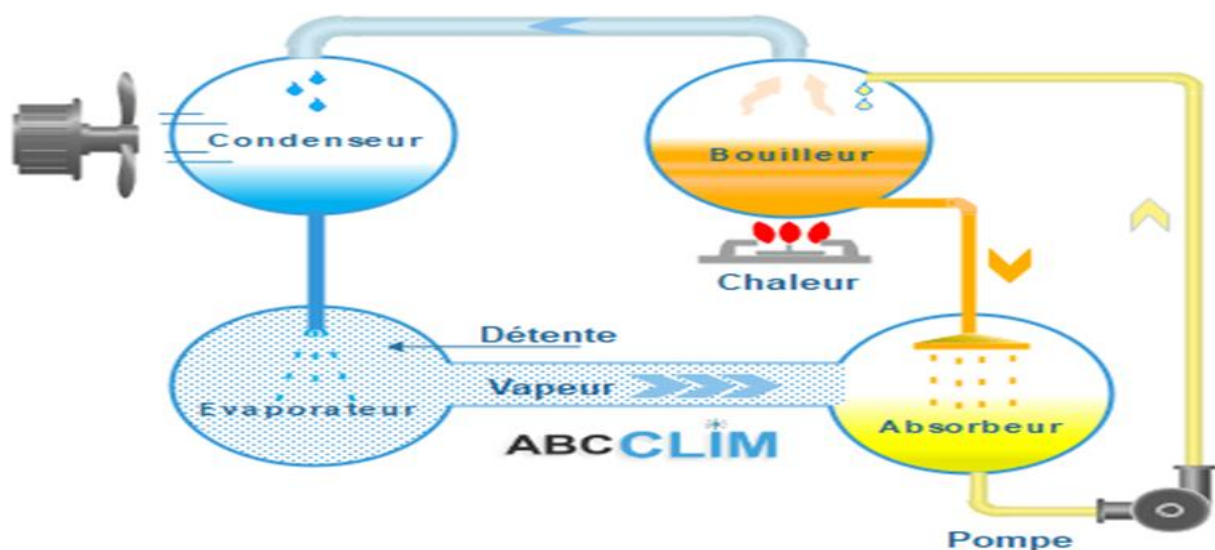


Figure I-4 : cycle froid par absorption . [12]

I.2.2.2 : Applications Spécifiques

- Réfrigérateurs à gaz pour camping et caravaning.
- Climatisation industrielle utilisant l'énergie thermique excédentaire.
- Systèmes de réfrigération solaire.

I.2.3 : Froid Thermoélectrique

Cette technologie est basée sur l'effet Peltier, découvert en 1834, et est utilisée dans des applications spécifiques telles que les petits réfrigérateurs et le refroidissement de composants électroniques.

I.2.3.1 : Principe de Fonctionnement

Pour atteindre cet objectif, on utilise des composants appelés « unités Peltier », qui convertissent le courant électrique en différence de température.

Les unités Peltier doivent leur nom à la thermoélectricité, ou plus précisément à l'effet Peltier. Ce dispositif utilise le courant électrique et possède deux faces : une face froide et une face chaude. L'objet à refroidir doit être placé du côté froid, tandis qu'un mécanisme de dissipation de la chaleur (ventilateur, etc.) est nécessaire de l'autre côté.

L'unité Peltier est constituée d'une série de « paires » constituées d'un matériau semi-conducteur choisi pour que les électrons agissent comme un fluide de transfert de chaleur. [13]

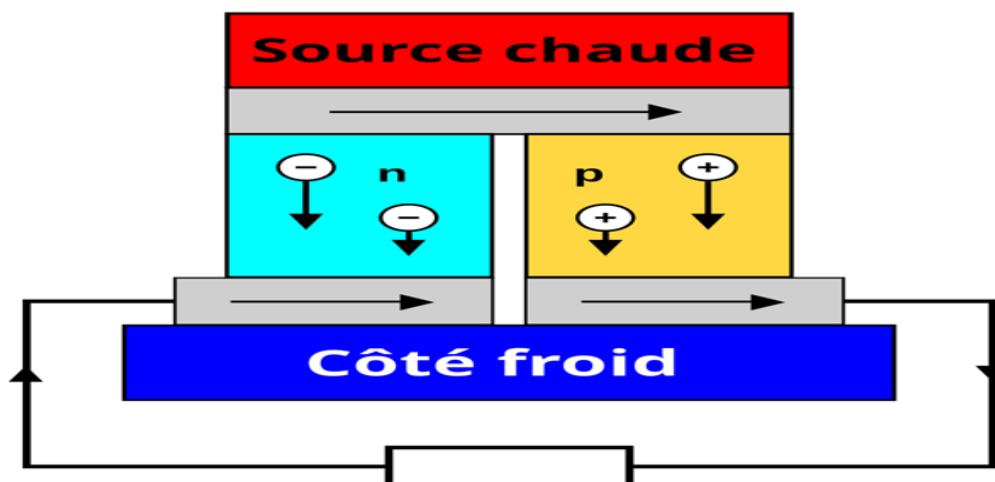


Figure I-5 : Diagramme d'un générateur thermoélectrique . [14]**I.2.3.2 : Applications Spécifiques**

Les systèmes suivants utilisent un refroidissement thermoélectrique :

- refroidissement des corps noirs
- calorimètres
- capteurs CCD
- échangeurs de chaleur
- déshumidificateurs
- systèmes de guidage
- refroidissement des diodes laser
- refroidissement des microprocesseurs
- réfrigération embarquée (avions, voitures, hôtel...)
- thermocycleur
- incubateurs

I.2.4 : Comparaison des trois techniques

Technique	Avantages	Inconvénients
Compression	Efficacité élevée, large gamme d'applications	Utilisation de fluides frigorigènes polluants
Absorption	Fonctionne avec des énergies renouvelables (solaire, chaleur perdue)	Moins efficace que la compression
Thermoélectrique	Aucun fluide frigorigène, pas de pièces mobiles	Rendement faible, réservé aux petits systèmes

Tableau I.1 : Comparaison des trois techniques**I.3 : Généralités sur les Machines Frigorifiques**

I.3.1 : Définition

Une machine frigorifique est un dispositif thermodynamique conçu pour refroidir une pièce ou un système à partir d'une source de chaleur externe dont la température est supérieure à celle de la pièce ou du système à refroidir. Il s'agit d'un système de refroidissement qui transfère la chaleur d'une température élevée vers une température plus basse. Le flux naturel de chaleur se produit toujours d'un corps froid vers un corps chaud. Une machine frigorifique peut également être définie comme un dispositif permettant à la chaleur de circuler dans le sens inverse du flux naturel, c'est-à-dire d'un environnement chaud vers un environnement froid. Une dépense énergétique est inévitable pour réaliser ce transfert inverse. L'énergie nécessaire pour assurer ce transfert doit être inférieure à l'énergie thermique utile du système pour qu'il soit bénéfique.[15]

I.3.2 : Composants les Machines Frigorifiques

Une installation de base se compose alors des quatre organes principaux :

I.3.2.1 : Le compresseur

Un compresseur est un dispositif mécanique conçu pour augmenter la pression d'un gaz en diminuant son volume. Le compresseur est le composant principal des systèmes de réfrigération de base et est souvent appelé le « cœur d'un système de réfrigération ». Il agit comme une pompe pour réguler la circulation du fluide frigorigène. Le principe de fonctionnement d'un compresseur est d'aspirer la vapeur de fluide frigorigène à basse pression et température depuis l'évaporateur, puis de la comprimer à haute pression et température.[16]

I.3.2.2 : Le condenseur

Le condenseur convertit la vapeur en liquide en extrayant la chaleur. Le réfrigérant gazeux à haute pression, qui transporte l'énergie thermique absorbée par l'évaporateur et la puissance de fonctionnement du compresseur, est dirigé vers le condenseur. Sa température de condensation est supérieure à la température ambiante. Par conséquent, lors du transfert de chaleur, le réfrigérant se condense, passant d'une vapeur à haute pression à un liquide saturé à haute pression.[17]

I.3.2.3 : Le détendeur

Le détendeur a pour fonction de réduire rapidement la pression du fluide frigorigène produit dans le groupe de condensation pendant le cycle de réfrigération. Cela permet au gaz réfrigérant de refroidir rapidement avant d'entrer dans l'évaporateur.[18]

I.3.2.4 : L'évaporateur

L'évaporateur évacue la chaleur de la zone à refroidir. Lorsque le fluide frigorigène liquide atteint l'évaporateur à basse pression après le détendeur, il est beaucoup plus froid que l'air ambiant. Cela signifie qu'il peut absorber la chaleur de l'air chaud et atteindre rapidement son point d'ébullition inférieur. Il s'évapore ensuite, absorbant un maximum de chaleur.[19]

Schéma d'un cycle frigorifique à compression

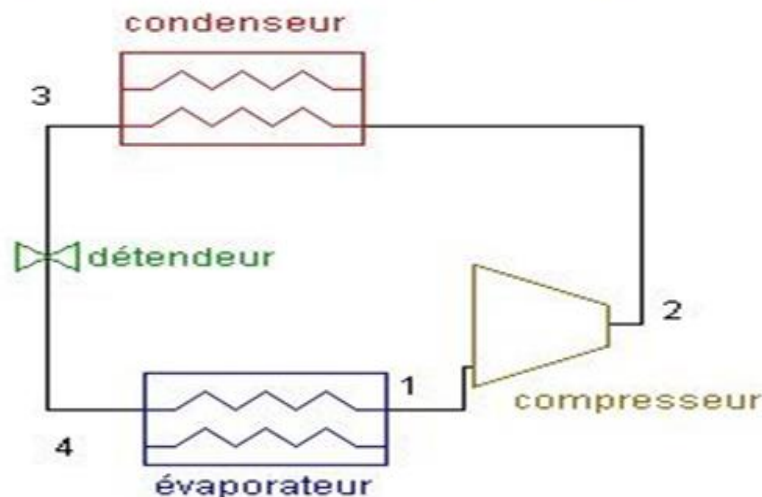


Figure I-6 :composant un machine Frigorifique . [20]

I.3.3 : Le fluide frigorigène

Un fluide frigorigène est une substance utilisée dans les systèmes de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur pour transférer la chaleur. Il circule en circuit fermé où il change d'état (de liquide à gaz et inversement) pour absorber et restituer la chaleur, permettant ainsi de refroidir ou de chauffer un espace.

Les réfrigérants sont de différents types :

- Naturels (ex. : ammoniac, dioxyde de carbone, hydrocarbures)
- Synthétiques (ex. : CFC, HCFC, HFC, HFO), certains étant réglementés en raison de leur impact environnemental (appauvrissement de la couche d'ozone, effet de serre).[21]

I.4 : Principe de Fonctionnement

I.4.1 : Cycle thermodynamique

Un cycle thermodynamique est une suite de transformations successives qui part d'un système thermodynamique dans un état donné, le transforme et le ramène finalement à son état initial, de manière à pouvoir recommencer le cycle. Au cours du

cycle, le système voit sa température, sa pression ou d'autres paramètres d'état varier, tandis qu'il échange du travail et réalise un transfert thermique avec l'extérieur, par exemple :

- **Le cycle de Carnot** : est composé d'une compression isotherme, une compression adiabatique, une détente isotherme et une détente adiabatique.
- **Le cycle de Stirling** : est composé d'un chauffage isochore, une expansion isotherme, une détente isochore et une compression isotherme.
- **Le cycle moteur de Brayton** : est composé d'une compression adiabatique, une combustion isobare, une détente adiabatique et une contraction isobare.
- **Le cycle Diesel** : est composé d'une compression adiabatique, une combustion isobare, une détente adiabatique et un refroidissement isochore .
[22]

I.4.2 : Cycle idéal

Le cycle idéal est le cycle de Carnot inverse

I.4.2.1 : Historique de cycle Carnot

Le cycle fut publié par Sadi Carnot en 1824 dans son unique ouvrage *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* et permit d'ouvrir la voie à la formulation du deuxième principe de la thermodynamique.[23]

I.4.2.2 : Transformations cycle froid idéal

Le cycle est composé de quatre transformations :

- **Transformation A-B : Compression isentropique**

Un compresseur comprime un fluide frigorigène gazeux, augmentant ainsi sa pression et sa température.

- **Transformation B-C : Condensation isotherme**

Le gaz haute pression passe dans un condenseur où il cède sa chaleur à l'environnement extérieur et se transforme en liquide

- **Transformation C-D : Détente isentropique**

Le liquide frigorigène traverse un détendeur, ce qui réduit sa pression et sa température

- **Transformation D-A : Évaporation isotherme**

Le fluide frigorigène absorbe la chaleur de l'environnement à refroidir dans l'évaporateur et retourne à l'état gazeux[24]

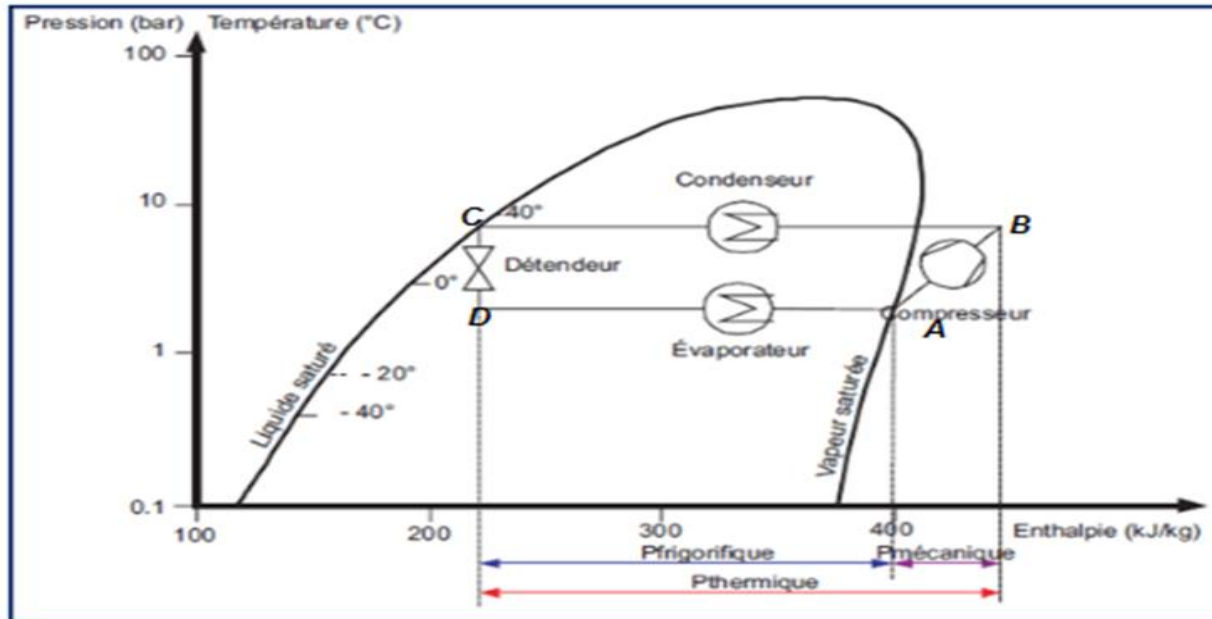


Figure I-7 : cycle thermodynamique froid (idéal) . [25]

I.4.3 : Cycle real

Le cycle frigorifique réel est une version plus proche de la réalité du cycle de Carnot inverse. Il prend en compte les pertes énergétiques et les irréversibilités (chutes de pression, frottements, écarts de température, rendement non parfait des composants).

I.4.3.1 : Transformations cycle froid real

- **Transformation 1-2 : Compression isentropique**

compression de vapeur de fluide frigorigène qui passent d'un niveau de basse pression (BP) à un niveau de haute pression (HP).

- **Transformation 2-3 : Désurchauffe isobar**

Désurchauffe de vapeur de FF (HP).

- **Transformation 3-4 : Condensation isotherme**

condensation de vapeur de fluide frigorigène (HP) qui deviennent du fluide frigorigène (HP).

- **Transformation 4-5 : Sous refroidissement isobar**

sous refroidissement du fluide frigorigène (HP).

- **Transformation 5-6 : Détente isentropique**

détente du fluide frigorigène (HP) qui devient un mélange de liquide (BP) et d'une faible quantité de vapeur (BP).

- Transformation 6-7 : Évaporation isotherme

évaporation du fluide frigorigène liquide (BP) qui devient de vapeur de fluide frigorigène (BP).

- Transformation 7-1 : surchauffe isobar

surchauffe de vapeur de fluide frigorigène (BP).[26]

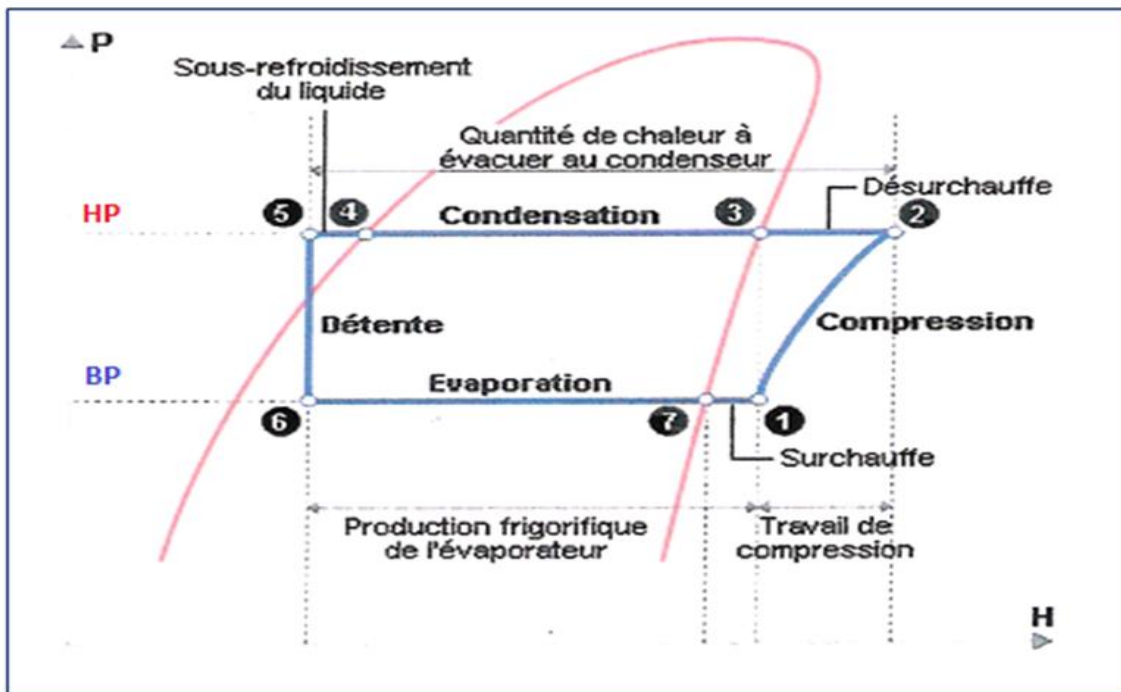


Figure I-8 : cycle thermodynamique froid (real) . [27]

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

Emplacement du fluide	Niveau de pression	Etat du fluide	Niveau de température
Compresseur (1-2)	Passage en haute pression	Gazeux	Elevée
Circuit compresseur-condenseur (2-3)	Haute pression	Gazeux	Elevée

Condenseur (3-4)	Haute pression	Passage à l'état liquide	Passage à basse température
Circuit condenseur-détendeur (4-5)	Haute pression	Liquide	Basse
Détendeur (5-6)	Passage à basse pression	Liquide	Basse
Circuit détendeur-évaporateur (6-7)	Basse pression	Liquide	Basse
Evaporateur (6-7)	Basse pression	Passage à l'état gazeux	Passage à température élevée
Circuit évaporateur-compresseur (7-1)	Basse pression	Gazeux	Elevée

Tableau I.2 : Les différentes caractéristiques du fluide en cycle real

Chapitre II

Conteneur et chambre froid

II.1 : Conteneur

II.1.1 : Définition

Un conteneur est une grande boîte métallique de taille uniforme utilisée pour transporter des marchandises par différents modes de transport (bateau, train, camion), sans qu'il soit nécessaire de les recharger à chaque changement de mode. Ce système facilite le transport multimodal et accélère la logistique.[28]



Figure II-1 : Conteneur Maritime 20 Pieds . [29]

II.1.2 : Importance

1. L'utilisation de conteneurs permet aux transporteurs de réaliser des économies substantielles. Les porte-conteneurs peuvent charger et décharger leur cargaison très rapidement, réduisant ainsi les coûts d'expédition et de déchargement, et facilitant la manutention et le transport des marchandises vers un grand nombre de clients.
2. Isotherme, solide et incassable, le conteneur est le mode d'emballage le plus sûr. Il protège les marchandises et réduit les risques de perte et de dommage. Le transport de conteneurs réfrigérés permet également de protéger les denrées périssables de la chaleur, du froid, de l'humidité et des variations climatiques. Son étanchéité réduit également les risques de vol.

3. Le conteneur est la solution idéale pour les systèmes de transport, facilitant le transfert d'un transporteur à l'autre lors de l'emballage, sans avoir à décharger ou à reclasser le contenu. Il permet aux transporteurs de réduire l'espace perdu à l'intérieur du navire sans craindre d'endommager les marchandises, améliorant ainsi l'utilisation du navire.

4. Le développement de l'utilisation des porte-conteneurs a entraîné le développement et l'extension des capacités des terminaux de manutention de conteneurs dans les ports, la mise à disposition d'équipements modernes pour le déchargement et le chargement des navires, et la création de ports à conteneurs spécialisés.

5- La durée d'escale des porte-conteneurs a été réduite de 30 % à 20 % de la durée du voyage, contre 60 % pour les navires conventionnels. Cela a contribué à réduire le coût des escales.[30]

II.1.3 : Type

Les conteneurs varient en fonction de leur utilisation prévue et sont divisés en deux types :

1 - Les conteneurs de marchandises générales :

ne sont pas destinés à des types de marchandises spécifiques et comprennent plusieurs types de marchandises, notamment :

- **Conteneurs à usage général** : hermétiquement fermés, dotés d'un toit et de côtés solides, et destinés au transport de types de marchandises telles que des marchandises sèches et liquides conditionnées dans des boîtes métalliques .
- **Les conteneurs ouverts** : sont similaires aux conteneurs à usage général, à l'exception de la présence d'un toit mobile et amovible en tissu ou en plastique, qui peut être fixé sur les quatre côtés du toit Ce type est utilisé pour transporter des marchandises très lourdes ou volumineuses, et est également utilisé pour expédier des marchandises qui ne peuvent être soulevées qu'avec des ponts roulants.

- **Conteneurs plats** : sans fondations supérieures, mais de même longueur et largeur que les conteneurs ordinaires et équipés de coins pour permettre la manutention, et parfois de roues leur permettant de rouler pour faciliter les opérations de chargement, de déchargement et d'empilage sur les quais des ports .
- **Conteneurs ouverts sur les côtés** : ils ont des côtés non fixes, de sorte que les parois du conteneur peuvent être retirées tandis que les coins et la base restent fixes selon les besoins .

2 - Conteneurs de fret spéciaux :

Il s'agit de conteneurs avec une conception spéciale. Leurs formes varient selon le type de marchandises, notamment

- **Conteneurs isolés thermiquement** : ils sont dotés de côtés, d'un sol et d'un toit isolés thermiquement pour réduire les échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur du conteneur.



Figure II-2 : Conteneur avec mur isolé . [31]

- **Conteneurs thermiques chauffés** : avec spécifications thermiques et équipés d'un dispositif de production de chaleur.

- **Un conteneur réfrigéré** : avec des spécifications thermiques équipé d'un dispositif de réfrigération qui assure le maintien du froid à un certain niveau .



Figure II-3 : Le conteneur frigorifique . [32]

- **Les conteneurs-citernes** : sont utilisés pour transporter des huiles et des acides, ou pour transporter du gaz comprimé ou liquéfié Ils se présentent souvent sous la forme de réservoirs métalliques hermétiques .[33]

II.1.4 : La pollution

Les conteneurs, comme tout ce qui est fabriqué par l'homme, présentent de nombreux avantages et inconvénients. Après des années d'économies de temps et d'argent, il existe un inconvénient : chaque année, environ 1,5 million de kilogrammes d'acier de conteneurs maritimes tombent en panne et s'empilent comme des montagnes.

Ce grand nombre de conteneurs empilés est une catastrophe pour l'homme et l'environnement. Tout au long de leur vie, ces conteneurs ont transporté de nombreux produits chimiques, dont beaucoup se sont infiltrés dans la coque et se déverseront

dans l'environnement lorsqu'ils cesseront de fonctionner. Ces substances toxiques sont mortelles pour les humains, les plantes et les animaux vivant à proximité.

Le grand nombre de vieux conteneurs empilés dénature également le paysage et devient un terrain fertile pour les insectes et les rongeurs nuisibles, ce qui peut perturber l'équilibre écologique.[34]



Figure II-4 : vieux conteneurs . [35]

II.1.5 : Recyclage des conteneurs

Pour éviter la pollution causée par les vieux conteneurs, les scientifiques les ont recyclés et réaffectés à de nouvelles industries, notamment :

- **Construction** : Les ingénieurs ont exploité la structure en acier des conteneurs pour les transformer en petits appartements à louer à bas prix. Des gratte-ciels en Chine ont même été construits à partir de conteneurs empilés selon un plan.
- **Stockage** : Les conteneurs ont été transformés en zones de stockage organisées.

- **Chambres froides :** Les conteneurs étaient parfaitement adaptés à la transformation en chambres froides mobiles préservant la qualité des produits sensibles.

II.2 : Étapes pour transformer un conteneur en chambre froide

II.2.1 : Sélectionnez un conteneur

Il existe deux principaux types de conteneurs d'expédition qui peuvent être convertis en chambres froides, le conteneur de 6 mètres (20 pieds) et le deuxième type est le conteneur de 12 mètres (20 pieds). S'il y a une question de coût, il est préférable d'utiliser le plus petit contenant qui est plus pratique que le plus grand.

II.2.2 : Contrôle qualité

Avant de commencer les travaux, le conteneur sélectionné doit être inspecté et les défauts existants réparés, car les anciens conteneurs présentent de nombreux défauts, et il faut s'assurer que

- **Cadre métallique :** les vieux conteneurs sont connus pour avoir une structure métallique corrodée, le métal doit donc être soigneusement inspecté, les fissures soudées et les pièces rouillées remplacées par de nouvelles pièces métalliques.
- **Portes :** La porte est un élément important de l'isolation thermique, vous devez donc vous assurer qu'elle s'ouvre et se ferme correctement et qu'elle ne fuit rien.
- **Peinture :** La peinture est un matériau qui empêche le métal de rouiller. Pour prolonger la durée de vie du projet, les zones écaillées doivent être peintes pour éviter la corrosion structurelle et les fuites.

II.2.3 : Pose de l'isolation thermique

II.2.3.1 : L'importance de l'isolation thermique

L'isolation thermique est la deuxième chose la plus importante dans une salle de formation car elle maintient l'intérieur frais et empêche la chaleur extérieure de pénétrer. Une bonne isolation permet également d'économiser des coûts en termes

d'électricité et d'entretien du système de refroidissement, qui durera longtemps sans fatigue.

II.2.3.2 : Matériaux isolants thermiques

Dans ce cas, on utilisera des panneaux isolants, qui sont deux panneaux en acier avec une épaisse couche de polyuréthane entre eux. Cette combinaison est un isolant thermique à faible coût et à haute efficacité.

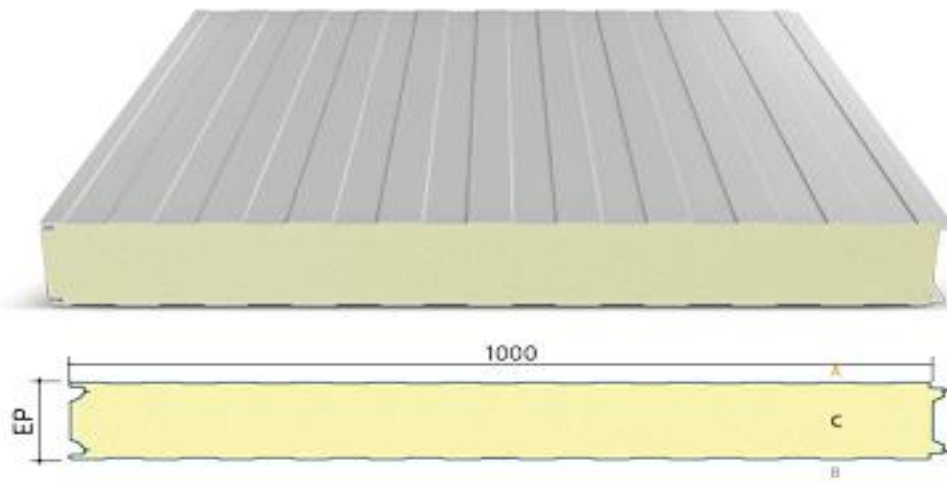


Figure II-5 : Le panneau sandwich frigorifique. [300005]

Les avantages panneau isolant (panneau sandwich)

- Résistance thermique
- Isolation acoustique
- Comportement du feu
- Imperméabilité

II.2.3.3 : Techniques d'installation

La méthode d'installation de l'isolant est tout aussi importante que le matériau lui-même. Pour obtenir les meilleurs résultats, vous devez suivre attentivement ces étapes :

- Installer des panneaux isolants de 10 cm d'épaisseur sur tous les murs, le plafond et même le sol. Ce poisson offre un excellent équilibre entre isolation et coût, et est suffisant pour la plupart des applications nécessitant un refroidissement.
- Les joints entre les panneaux doivent être recouverts de ruban métallique résistant à l'humidité. Car les interstices, même s'ils sont petits, peuvent laisser entrer l'air ou l'humidité, et l'isolation ne fonctionnera alors pas efficacement.

II.2.4 : Modifier la porte du conteneur

Après s'être assuré que la porte d'origine fonctionne normalement, il faut la retirer et la modifier pour qu'elle devienne un isolant thermique. Le même isolant que précédemment, qui est en polyuréthane, peut être utilisé, ou la porte peut être remplacée par une porte en bois, car le bois est un bon isolant thermique.

II.2.5 : Installation du système de refroidissement

Après avoir installé l'isolation thermique dans tout le conteneur, l'élément le plus important de la chambre froide doit être installé, à savoir le système de réfrigération. Il est préférable d'utiliser la réfrigération à compression de vapeur. Le système de réfrigération comprend quatre composants principaux (compresseur, condenseur, détendeur et évaporateur), fonctionnant grâce à la circulation d'un fluide frigorigène.

II.2.6 : Installation du système électrique :

La dernière chose est d'ajouter un système électrique qui contrôle et alimente la chambre froide. Étant donné que ces salles sont conçues pour être mobiles, il est préférable de les équiper d'un moteur diesel relié à un générateur électrique pour produire de l'électricité.

II.3 : Exemples de transformation de conteneurs en chambres froides

1. Fermes maraîchères et fruitières :

Dans les zones rurales ou agricoles, certains agriculteurs transforment des conteneurs de 20 pieds en chambres froides pour stocker leurs récoltes telles que les tomates, les poivrons, les baies ou les raisins. Cela évite la détérioration, en particulier pendant les saisons chaudes, et augmente la durée de conservation des produits avant leur vente sur le marché.

- **Exemple concret** : un agriculteur de Haute-Égypte a utilisé un vieux conteneur, l'a isolé intérieurement, puis a ajouté une simple unité de réfrigération alimentée par l'énergie solaire, ce qui lui a permis d'économiser le coût de construction d'un entrepôt frigorifique traditionnel.

2. Entreprises de distribution de viande ou de produits laitiers :

Les petites et moyennes entreprises utilisent des conteneurs modifiés pour stocker de la viande ou des produits laitiers à basse température, en particulier celles qui ne disposent pas de grands entrepôts. Le conteneur est prêt à être déplacé à tout moment, ce qui le rend idéal pour le travail mobile.

- **Exemple concret** : une start-up jordanienne a transformé un conteneur de 40 pieds en chambre froide mobile pour stocker du lait et des produits laitiers dans les villages, en utilisant un système de réfrigération diesel très efficace.

3. Chambres froides mobiles pour festivals ou événements :

Parfois, les grands événements et festivals nécessitent une réfrigération temporaire des aliments et des boissons. Ici, des conteneurs modifiés sont utilisés comme entrepôt frigorifique mobile qui est transporté sur le site et utilisé tout au long de l'événement.

- **Exemple** : Un festival gastronomique en Arabie saoudite a utilisé deux récipients modifiés pour conserver les jus et la viande à basse température tout au long du festival.

4. Soutenir les projets alimentaires émergents

Certaines startups, comme les restaurants mobiles ou les entreprises de livraison de nourriture, utilisent de petits conteneurs comme entrepôt frigorifique autonome, les gardant à côté du camion ou de l'installation de production.

5. Utilisation humanitaire et de secours :

Dans les zones de crise ou de catastrophe, les conteneurs réfrigérés sont utilisés pour stocker les vaccins ou les réserves alimentaires, car ils sont faciles à transporter et peuvent être déployés rapidement.

- **Exemple** : Dans certaines régions d'Afrique, les organisations humanitaires ont utilisé des conteneurs réfrigérés mobiles pour stocker des vaccins contre les épidémies, alimentés par l'énergie solaire pour assurer un refroidissement continu.

II.4 : Conclusion

Transformer un conteneur maritime en chambre froide est un projet pratique et économique, surtout dans les régions où les solutions de réfrigération standard sont rares. En suivant les étapes appropriées, comme le choix du conteneur, la vérification de sa qualité, l'installation d'une isolation thermique, la modification de la porte et enfin l'installation d'un système de refroidissement efficace, vous pouvez obtenir une excellente chambre froide à un coût inférieur à celui d'une construction de toutes pièces.

Chapitre III

Calcul de l'isolation thermique

III.1 : Introduction

La transformation d'un conteneur en chambre froide est considérée comme l'une des meilleures solutions testées en raison des économies réalisées. Pour ce faire, il est essentiel de connaître les dimensions du conteneur à transformer, de maîtriser les principes de base du transfert thermique et d'autres détails importants permettant d'économiser l'énergie nécessaire au refroidissement.

III.2 : Description de notre projet

Dans le cadre de ce projet, nous avons pour objectif de convertir un conteneur maritime en chambre froide destinée au stockage de mortadelle (kashir).

III.3 : Les caractéristiques de ce conteneur

On va vous présenter les données de ce conteneur avec autres détails ce que aide pour les calculs spécifiques de ce chambre

✓ Paramètres climatiques extérieures :

Les condition climatiques de milieu extérieur sont :

- Température :40°
- Humidité relative : 30 %

✓ Paramètres climatiques intérieurs

Les condition climatiques de ce chambre intérieurs sont :

- Température : 6°
- Humidité relative : 60 % [36]

III.4 : Fiche Technique – Conteneur 20 Pieds

Type	Long. ext.	Larg. ext.	Haut. ext.	Long. int.	Larg. int.	Haut. int.
Conteneur 20 pieds standard	6,06 m	2,44 m	2,59 m	5,7 m	2,15 m	2,19 m

III.4.1 : Les différents surfaces de ce chambre

	Sud et nord	Est et ouest	Sol et plafond
Surface (m ²)	12.48	4.7	12.25

III.5 : Transfert thermique

Transfert de chaleur, ou transfert thermique, est un échange d'énergie interne entre deux systèmes dû à une différence de température, Il existe trois modes fondamentaux de transfert de chaleur.[37]

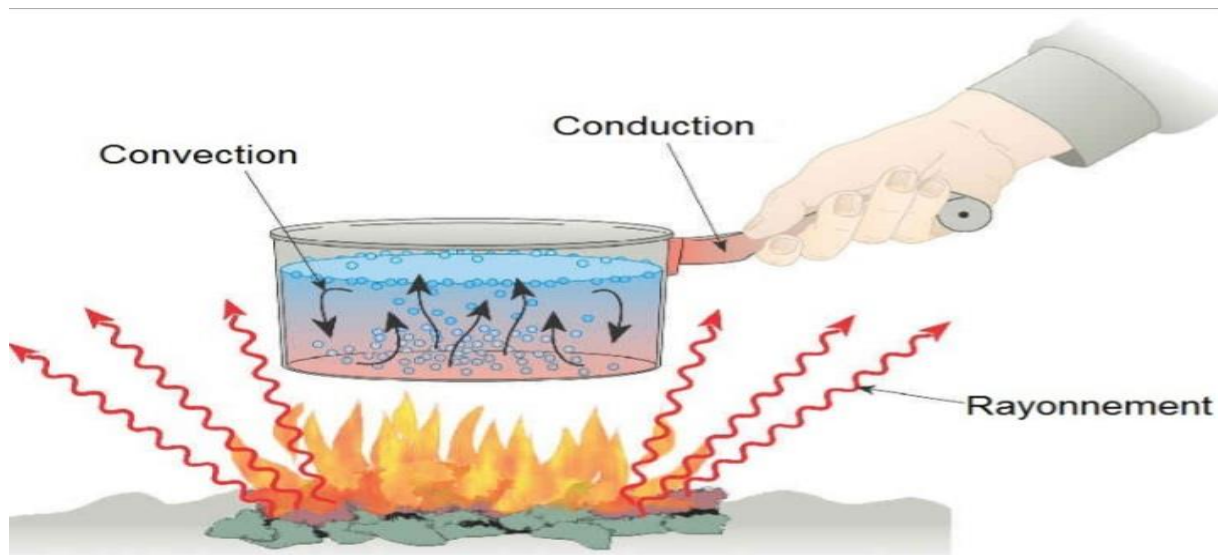


Figure III.1 : Les 3 modes de transfert thermique [38]

La Figure III.1 illustre un exemple concret permettant de visualiser les trois modes fondamentaux de transfert de chaleur.

- **Le rayonnement thermique** est représenté par les ondes émises par la flamme vers la casserole.
- **La conduction thermique** a lieu à travers le métal de la casserole, notamment entre la zone chauffée et la poignée.
- **La convection thermique** se produit à l'intérieur de l'eau, où les courants de convection assurent le transfert de chaleur entre le fond de la casserole et la surface du liquide.

Il est à noter que ce système ouvert permet également l'évaporation de l'eau, ce qui constitue un transfert de masse (passage de l'eau liquide vers la phase vapeur).

Toutefois, dans le cadre de cette section, l'accent est mis uniquement sur les mécanismes de transfert de chaleur, qui sont au cœur de notre étude.

III.6 : Pose d'isolation

Le conteneur, nous plaçons une autre plaque d'acier sur la plaque d'origine du conteneur, puis nous plaçons l'isolant en polyuréthane, après cela nous plaçons une autre plaque d'acier et cela se fait sur tous les murs, ainsi que le plafond, la porte et le sol.

Chaque partie du processus a son propre coefficient de conductivité thermique et sa propre épaisseur.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

AME ISOLANTE	- Mousse en polyuréthane (40±2) kg/m ³ . Réaction de feu: Euro class - Selon NF 13 501-1 : Panneau : (exigence: M1) - Conductivité thermique : ($\lambda = 0.022W / m.k$)
PAREMENT EXTÉRIEUR	- Tôle d'acier galvanisé pré laqué d'épaisseur 0.40-0.50-0.60 et 0.70mm. Revêtement Tôle : Coté supérieur revêtement 25 μ coté inférieur revêtement 7 μ
PAREMENT INTÉRIEUR	- Tôle d'acier galvanisé pré laqué d'épaisseur 0.40-0.50-0.60 et 0.70mm. Revêtement Tôle : Coté supérieur revêtement 25 μ coté inférieur revêtement 7 μ

TYPES	LARGEUR mm	LONGUEUR mm	ÉPAISSEUR	POIDS DE PANNEAU kg/m ²				RÉSISTANCE THERMIQUE R en m ² .K/W	TRANSMISSION THERMIQUE UP en W/m ² . K
				ÉPAISSEUR TÔLE mm					
				0.7/0.7	0.6/0.6	0.5/0.5	0.4/0.4		
LL 80	1000	1000 à 16000	80	15.28	13.56	11.84	10.10	1.36	0.74
LL 100	1000	1000 à 16000	100	16.08	14.36	12.64	10.90	1.61	0.62
LL 120	1000	1000 à 16000	120	16.88	15.16	13.44	11.70	1.81	0.55
LL 150	1000	1000 à 16000	150	16.08	16.36	14.64	12.70	2.27	0.44
LL 200	1000	1000 à 16000	200	20.08	18.36	16.64	14.90	2.70	0.37

Figure III.2 : Fiche technique sur le panneau sandwich frigorifique

1. Le planchier

Matériels	Conductivité thermique (w/m ² .k)	Épaisseur (m)
Tôle d'acier(sol)	45	0,004
Bois de plancher	0.1	0.028
Tôle d'acier	45	0,0007
Polyuréthane	0,022	0,10
Tôle d'acier	45	0,0004

2. le plafond

Matériel	Conductivité thermique (w/m ² .k)	Épaisseur (m)
Tôle d'acier(plafond)	45	0,002
Tôle d'acier	45	0,0007
Polyuréthane	0,022	0,10
Tôle d'acier	45	0,0004

3. la porte

Matériel	Conductivité thermique (w/m ² .k)	Épaisseur (m)
Tôle d'acier(porte)	45	0,003
Tôle d'acier	45	0,0007
Polyuréthane	0,022	0,10
Tôle d'acier	45	0,0004

4. les parois

Matériel	Conductivité thermique (w/m ² .k)	Épaisseur (m)
Tôle d'acier(paroi)	45	0,002
Tôle d'acier	45	0,0007
Polyuréthane	0,022	0,10
Tole d'acier	45	0,0004



Figure III.3 : Conteneur recouvert de panneaux isolants

III.7 : calcul de coefficient globale K

L'équation pour calculer ce coefficient est donnée comme:

$$\text{K} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^n \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_e}}$$

K= le coefficient global d'échange de chaleur ($w/m^2.k$).

$\frac{1}{h_i}$ = résistance thermique superficielle interne ($m^2.k/w$).

$\sum_{j=1}^n \frac{e_n}{\lambda_n}$ = la somme des résistances thermiques de différentes couches de matériaux constituant les parois en $m^2.k/w$. chaque couche de matériaux est caractérisée par son épaisseur (e) en m et par son coefficient de conductivité thermique (λ) en $w/M.k$.

$\frac{1}{h_e}$ = résistance thermique superficielle externe ($m^2.k/w$)

On a la résistance thermique (coefficient de convection) interne

➤ $h_i = 10 \text{ (w/m}^2\cdot\text{k)}$

Et le coefficient de convection externe

➤ $h_e = 20 \text{ (w/m}^2\cdot\text{k)}$

1. Calcul du coefficient d'échange de chaleur K pour les parois

$$k = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0.002}{45} + \frac{0.0007}{45} + \frac{0.1}{0.022} + \frac{0.0004}{45} + \frac{1}{20}} = 0.2129 \text{ w/m}^2\text{k}$$

✓ **K = 0,2129 w/m²k.**

2. Calcul du coefficient d'échange de chaleur K pour le plafond

$$k = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0.002}{45} + \frac{0.0007}{45} + \frac{0.1}{0.022} + \frac{0.0004}{45} + \frac{1}{20}} = 0.2129 \text{ w/m}^2\text{k}$$

✓ **K = 0,2129 w/m²k.**

3. Calcul du coefficient d'échange de chaleur K pour la porte

$$k = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0.003}{45} + \frac{0.0007}{45} + \frac{0.1}{0.022} + \frac{0.0004}{45} + \frac{1}{20}} = 0.2129 \text{ w/m}^2\text{k}$$

✓ **K = 0,2129 w/m²k.**

4. Calcul du coefficient d'échange de chaleur K pour la plancher

$$k = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0.002}{45} + \frac{0.028}{0.1} + \frac{0.0007}{45} + \frac{0.1}{0.022} + \frac{0.0004}{45}} = 0.2030 \text{ w/m}^2\text{k}$$

✓ **K = 0,2030 w/m²k.**

III.8 : Le tonnage

L'objectif du calcul du tonnage est d'estimer la quantité de produits qui seront introduits dans la chambre froide chaque heure. Ce rythme d'introduction est un facteur clé, car il influence directement la quantité de chaleur apportée par ces denrées. Cette chaleur est calculée à l'aide de la formule suivante:

$$\text{➤ } C = S \times H \times d_e \times \eta_0$$

III.8.1 : Le volume utile :

$$\text{➤ } V_u = S_u \cdot H_u$$

S_u = la surface utile de la chambre (m^2).

H_u = la hauteur utile de la chambre (m).

V_u = le volume utile de la chambre (m^3).

AN:

$$L = 5.7 \text{ m} \quad I = 2.15 \text{ m} \quad h_u = 2.19$$

$$S_u = L \times I = 5.70 \times 2.15 = 12.25 \text{ m}^2$$

$$\checkmark S_u = 12.25 \text{ m}^2$$

$$V_u = S_u \times h_u = 12.25 \times 2.19$$

$$\checkmark V_u = 26.83 \text{ m}^3$$

III.8.2 : Calcule la contenance de chambre froide

$$\text{➤ } C = S \times H \times d_e \times \eta_0$$

C : contenance de la chambre froide en Kg.

S : surface de la chambre froide en m^2 .

H : hauteur maximale de gerbage en m.

D_e : densité d'entreposage en kg/m^3 .

η_0 : coefficient d'occupation au sol des marchandises en %.

$$A= 12.25 \text{ m}^2 \quad H=2.19\text{m} \quad d_e =1050 \text{ Kg/ m}^3. \quad \eta_0 =65 \%$$

$$C= 12.25 \times 2.19 \times 1050 \times 0,65 = 18309.76 \text{ Kg}$$

$$\checkmark \quad C= 18.309 \text{ T}$$

III.9 : Conclusion

Les données de base sont essentielles pour établir le bilan frigorifique. Elles nous ont permis d'évaluer les charges thermiques à travers les parois, ainsi que de déterminer la surface et le volume de la chambre froide, afin de garantir des conditions de conservation adaptées pour les kashirs.

Chapitre IV

Calculer la charge thermique

IV.1 : Introduction

Les aliments doivent être conservés à basse température pour prolonger leur durée de conservation et ralentir leur détérioration. Dans cette chaîne de conservation, les chambres froides sont essentielles, notamment dans les secteurs de l'alimentation, de la restauration et de la vente au détail.

La maîtrise des échanges thermiques au sein de ces installations est essentielle pour garantir leur performance optimale. Déterminer la quantité de chaleur ajoutée ou retirée de la chambre froide est un élément clé de ce contrôle. Les produits introduits, les interactions avec l'extérieur, la présence de personnes ou d'équipements, ou encore les ouvertures fréquentes des portes, peuvent tous contribuer à cette chaleur.

L'objectif de ce travail est de fournir des techniques permettant de déterminer la quantité de chaleur dans une chambre froide en tenant compte des propriétés des aliments, de l'environnement d'exploitation et des paramètres thermodynamiques associés. Une compréhension approfondie de ces composants permet de concevoir et d'exploiter les systèmes de réfrigération plus efficacement tout en consommant moins d'énergie.

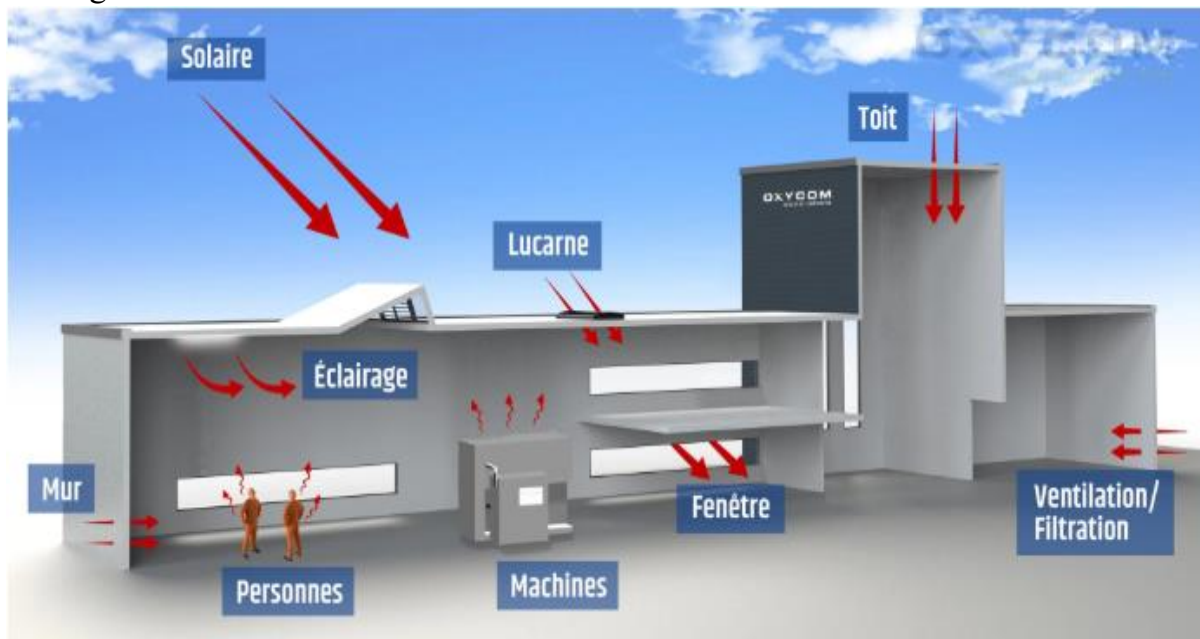


Figure IV.1 : la charge thermique d'une installation de production [43]

IV.2 : Les charges thermiques externes

Les charges thermiques externes représentent la quantité de chaleur qui pénètre dans une chambre froide depuis l'environnement extérieur. Elles constituent une part importante des apports thermiques à évacuer pour maintenir une température constante à l'intérieur. Ces charges proviennent principalement de :

- La transmission de chaleur à travers les parois (murs, sol, plafond), due à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur .

- Les infiltrations d'air chaud lors de l'ouverture des portes ou à cause d'un mauvais isolement .

IV.3 : Les charges thermiques internes

Les charges thermiques internes désignent la chaleur produite ou introduite à l'intérieur de la chambre froide par différentes sources présentes dans l'espace réfrigéré. Elles sont généralement inévitables et doivent être prises en compte dans le dimensionnement du système de réfrigération. Ces charges proviennent notamment de :

- La chaleur sensible et latente des produits stockés, surtout lorsqu'ils sont introduits à une température supérieure à celle de la chambre froide .
- Les personnes travaillant à l'intérieur, qui dégagent de la chaleur corporelle .
- Les équipements et machines situés dans la chambre froide (éclairage, moteurs, ventilateurs), qui dégagent de la chaleur lorsqu'ils fonctionnent .
- Les réactions biochimiques, dans le cas de produits frais (fruits, légumes, viande), qui peuvent continuer à dégager de la chaleur après leur stockage.

Une bonne estimation de ces charges internes est essentielle pour garantir la stabilité thermique, la sécurité des produits et une consommation énergétique optimisée.

IV.4 : Calcul de charges thermiques externes

IV.4.1 : Les parois Q_{parois} :

La formule de la charge thermique est :

$$\text{➤ } Q = K \cdot S \cdot (T_{\text{ex}} - T_{\text{in}})$$

Q : charge thermique (en W).

K : Le coefficient de transfert thermique globale de la paroi ($W/m^2 \cdot K$)

S : La surface de la paroi en m^2

T_{ex} : température extérieur en $^{\circ}C$

T_{in} : température inférieur en $^{\circ}C$

1. Côté nord :

La formule :

$$\text{➤ } Q = K \cdot S_n \cdot (T_{\text{ex}} - T_{\text{in}})$$

Les données :

$$T_{\text{ex}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{in}} = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$S_n = 12.48 \text{ m}^2$$

$$K = 0.2129 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Application numérique :

$$Q1 = 0.2129 \times 12.48 \times (40 - 6)$$

$$\checkmark Q1 = 90.33 \text{ w}$$

2. Côté sud :

La formule :

$$\triangleright Q = K \cdot S_s \cdot (T_{\text{ex}} - T_{\text{in}})$$

Les données :

$$T_{\text{ex}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{in}} = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$S_s = 12.48 \text{ m}^2$$

$$K = 0.2129 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Application numérique :

$$Q2 = 0.2129 \times 12.48 \times (40 - 6)$$

$$\checkmark Q2 = 90.33 \text{ w}$$

3. Coté est :

La formule :

$$\triangleright Q = K \cdot S_e \cdot (T_{\text{ex}} - T_{\text{in}})$$

Les données :

$$T_{\text{ex}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{in}} = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$S_e = 4.7 \text{ m}^2$$

$$K = 0.2129 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Application numérique :

$$Q3 = 0.2129 \times 4.7 \times (40 - 6)$$

$$\checkmark Q3 = 34.02 \text{ w}$$

4. Coté ouest :

La formule :

$$\triangleright Q = K \cdot S_o \cdot (T_{\text{ex}} - T_{\text{in}})$$

Les données :

$$T_{\text{ex}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{in}} = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$S_o = 4.7 \text{ m}^2$$

$$K = 0.2129 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Application numérique :

$$Q_4 = 0.2129 \times 4.7 \times (40 - 6)$$

$$\checkmark Q_4 = 34.02 \text{ w}$$

5. Le plafond

La formule :

$$\triangleright Q = K \cdot S_p \cdot (T_{\text{ex}} - T_{\text{in}})$$

Les données :

$$T_{\text{ex}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{in}} = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$S_{\text{planfond}} = 12.25$$

$$K = 0.2129 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Application numérique :

$$Q_5 = 0.2129 \times 12.25 \times (40 - 6)$$

$$\checkmark Q_5 = 88.67 \text{ w}$$

6. le plancher (sol) :

La formule :

$$\triangleright Q = K \cdot S_p \cdot (T_{\text{ex}} - T_{\text{in}})$$

Les données :

$$T_{\text{ex}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{in}} = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$S_{\text{sol}} = 12.25$$

$$K = 0.2030 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Application numérique :

$$Q_6 = 0.2030 \times 12.25 \times (40 - 6)$$

$$\checkmark Q_6 = 84.54 \text{ w}$$

7. La somme les parois

La formule :

$$\triangleright Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

Application numérique :

$$Q_p = 90.33 + 90.33 + 34.02 + 34.02 + 88.67 + 84.54$$

$$\checkmark Q_p = 421.91 \text{ W}$$

IV.4.2 : Le renouvellement d'air Q_{re} :

La formule de la charge thermique est :

$$\text{➤ } Q_{re} = m'_{ae} \cdot \Delta h$$

Q_{re} : charge thermique (en KW).

m'_{ae} : Débit massique d'air extérieur admis Kg / s .

Δh : Différence d'enthalpie entre l'air extérieur et l'air ambiant de la chambre froide en kj/kg .

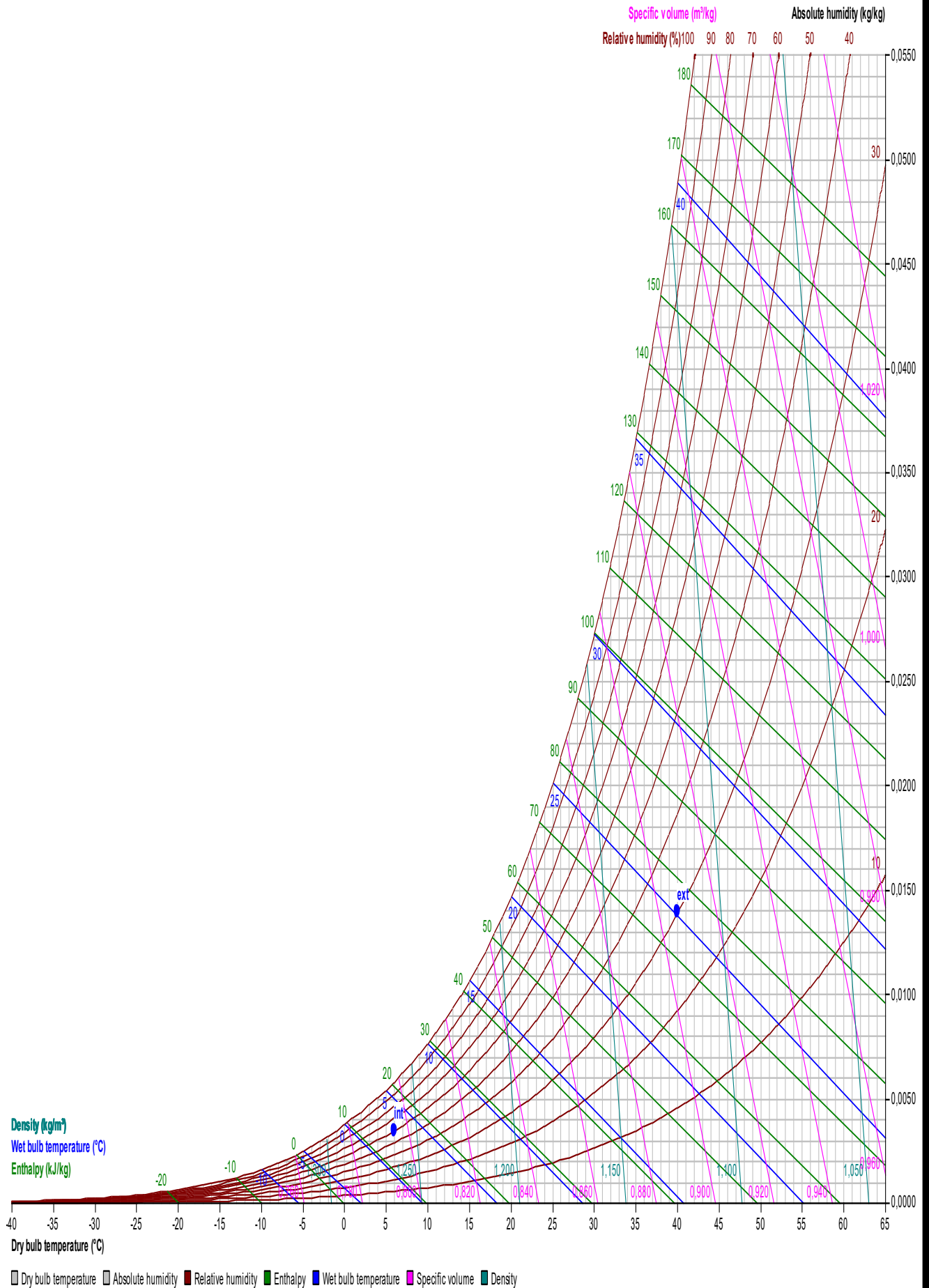
On utilise logiciel daikin company

On donne :

Psychrometric points

int		ext	
Dry bulb temperature	6,0°C	Dry bulb temperature	40,0°C
Wet bulb temperature	3,0°C	Wet bulb temperature	25,1°C
Dew point	-0,9°C	Dew point	19,1°C
Relative humidity	60,0%	Relative humidity	30,0%
Absolute humidity	0,0035kg/kg	Absolute humidity	0,0139kg/kg
Enthalpy	14,8kJ/kg	Enthalpy	76,0kJ/kg
Density	1,262kg/m ³	Density	1,118kg/m ³
Specific volume	0,795m ³ /kg	Specific volume	0,907m ³ /kg
Pressure	101325,0Pa	Pressure	101325,0Pa
Airflow	150,0l/s	Airflow	150,0l/s

Tableau VI-1 : Les données logiciels daikin



Donc , les données est :

Point intérieure

$$T_{int} = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Hr_{int} = 60\%$$

$$h_{int} = 14.8 \text{ Kj / Kg}$$

$$\rho_{airint} = 1.262 \text{ Kg / m}^3$$

Point extérieure

$$T_{ext} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Hr_{ext} = 30\%$$

$$h_{ext} = 76 \text{ Kj / Kg}$$

$$\rho_{ae} = 1.118 \text{ Kg / m}^3$$

1. Calcule débit massique d'air extérieur

On a :

$$\text{➤ } m'_{ae} = \frac{v_{ae} \cdot \rho_{ai}}{86400} \text{ Kg / sec}$$

86400 = nombre de seconde donne une journée.

v_{ae} : débit- volume d'air extérieur en m^3 / J

$$\text{➤ } v_{ae} = v_{cf} \cdot n$$

V_{cf} : Volume de la chambre froide en m^3 .

$$\checkmark V_{cf} = V_u = 26.83 \text{ m}^3$$

n : taux de renouvellement d'air journalier

$$\text{➤ } n = \frac{70}{\sqrt{v_{cf}}} \text{ en } J^{-1}$$

J : Jour (24 heures)

ρ_{ai} =masse volumique de l'air de la chambre froide en Kg/m^3

Application numérique :

$$\text{➤ } n = \frac{70}{\sqrt{26.83}} = \frac{70}{5.18} = 13.51 \text{ } J^{-1}$$

Et :

$$v_{ae} = 26.83 \times 13.51$$

$$\checkmark v_{ae} = 362.47 \text{ m}^3 / J$$

Donc :

$$m_{a.e} = \frac{362.47 \cdot 1.262}{86400} = 0,00529 \text{ Kg / sec}$$

$$\checkmark m_{ae} = 0.00529 \text{ Kg/s} = 19.05 \text{ Kg/h}$$

2. Calcule Différence d'enthalpie

$$\text{➤ } \Delta h = h_{ext} - h_{int}$$

$$\Delta h = 76 - 14.8$$

$$\checkmark \Delta h = 61.2 \text{ kJ / Kg}$$

3. Calcul le renouvellement d'air Q_{re} :

Application numérique :

$$Q_{re} = 0.00529 \times 61.2 = 0.32374 \text{ KW}$$

$$\checkmark Q_{re} = 323.74 \text{ W}$$

IV.4.3 : Ouvrir la porte

La formule de la charge thermique est :

$$\triangleright Q_{op} = [8,0 + (0,067 \times \Delta T)] \times \tau_q \times \rho_{ae} \times L \times H \times \sqrt{h \left(1 - \frac{\rho_{ai}}{\rho_{ae}}\right)} \times \Delta h \times C_{ra}$$

Q_{op} : charge thermique en W

ΔT : La variation de température en °C

τ_q : temps d'ouverture des portes exprimé en min/h

ρ_{ae} : masse volumique de l'air extérieur en Kg / m³

ρ_{ai} : masse volumique de l'air intérieur Kg / m³

L : largeur de la porte en m

H : hauteur de la porte en m

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

h : Dans de nombreuses références d'ingénierie (telles que ASHRAE et ADEME), h est donné par une valeur constante approximative.

1. Calcul de τ_q

$$\triangleright \tau_p = \frac{d_i \cdot f_i}{24} \text{ en min/h}$$

d_i : La durée moyenne d'ouverture de portes (= 5 porte ouvert manuelle)

f_i : Le flux journalier de marchandise en (tonne/jour) *Type de porte*

Dans notre cas en estimer que chaque jour le mouvement de marchandise représente 50 %.

$$\triangleright f_i = C \times 0.5$$

Application numérique :

$$f_i = 18.309 \times 0.5 = 9.15 \text{ Ton / Jour}$$

$$\checkmark f_i = 9.15 \text{ T / J}$$

Donc :

$$\checkmark \tau_p = \frac{5 \cdot 9.15}{24} = 1.9 \text{ min / h}$$

1. Calcul de Q_{op}

Les données :

$$\Delta T = T_{ext} - T_{int} = 40 - 6 = 34 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta h = h_{ext} - h_{int} = 61.2 \text{ Kj / Kg}$$

$$\rho_{ae} = 1.118 \text{ Kg / m}^3$$

$$\rho_{ai} = 1.262 \text{ Kg / m}^3$$

$$L = 2.15 \text{ m}$$

$$h = 2.19 \text{ m}$$

$$C_{ra} = 1$$

$$h : 0.221$$

Application numérique :

$$Q_{op} = [8 + (0,067 \times 34)] \times 1.9 \times 1,118 \times 2.15 \times 2.19 \times 61.2 \times 10^3 \times 1 \times \sqrt{0.221 \left(1 - \frac{1,118}{1,262}\right)}$$

$$Q_{op} = 1000.3 \text{ kJ/h}$$

$$\checkmark Q_{op} = 278 \text{ W}$$

IV.4.4 : Apports solaires

La formule de la charge thermique est :

$$\triangleright Q_s = S_{vit} \times G \times SHGC$$

Q_s : Charge thermique apports solaires en W .

S_{vit} : Surface vitrée

G : Flux solaire incident (W/m^2)

$SHGC$: facteur solaire , part du rayonnement transmise .

Les données :

$$S_{vit} = \text{Surface de porte} = 4.7 \text{ m}^2$$

$$G = 500 \text{ W/m}^2$$

$$\text{SHGC} = 0.2$$

Application numérique :

$$Q_s = 4.7 \times 500 \times 0.2$$

$$\checkmark Q_s = 470 \text{ W}$$

IV.5 : Calcul de charges thermiques internes

IV.5.1 : Due à l'éclairage

La formule de la charge thermique est :

$$\triangleright Q_{de} = n \times P \times t / 24$$

Q_{de} : charge thermique en W.

n : nombre de luminaires.

P : puissance de chaque luminaire en w.

t : durée de fonctionnement des luminaires en h/j.

On a :

$$n = 4 \quad p = 19 \text{ w} \quad t = 2 \text{ h/j}$$

Application numérique :

$$Q_{ec} = \frac{4 \times 19 \times 2}{24}$$

$$\checkmark Q_{ec} = 6 \text{ W}$$

IV.5.2 : Due aux personnes

La formule de la charge thermique est :

$$\triangleright Q_{per} = q_e \times \frac{n_0 \times t}{24}$$

Q_{per} : charge thermique en W.

n_0 : nombre de personnes opérant dans la chambre froide.

q_e : quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne en activité (W).

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

Température de la chambre froide en (°C)	Quantité de chaleur dégagée par personne en (w)
---	--

20	180
15	200
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390
-25	420

Tableau VI-2 : Quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne en activité moyenne dans une chambre froide.

On a :

$$n_0 = 4$$

$$T_{int} = 6^{\circ}\text{C} \rightarrow q_0 = 234 \text{ w}$$

$$t = 2\text{h/j}$$

Application numérique :

$$Q_{\text{ger}} = \frac{4 \times 234 \times 2}{24}$$

$$\checkmark Q_{\text{ger}} = 78 \text{ W}$$

IV.5.3 : Due aux denrées entrantes Q_{de}

La formule de la charge thermique est :

$$\rightarrow Q_{de} = m \times (C_1 \times (T_e - T_i))$$

Q_{de} : charge thermique en W.

m : masse de denrée introduite chaque jour en kg.

C_1 : capacité thermique massique avant congélation des denrées en J/kg °C.

T_e : température initiale de la denrée introduite en °C.

T_i : température d'entreposage des denrées en °C.

Les données :

$$m = 9150 \text{ kg} \quad C_1 = 3,2 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \quad T_e = 10^{\circ}\text{C} \quad T_i = 6^{\circ}\text{C}$$

Application numérique :

$$Q_{de} = \frac{9150 \times 3.2 \times (10 - 6)}{86400}$$

$$\checkmark Q_{de} = 1.355 \text{ kw}$$

IV.5.3 : Due aux matériels roulants et des machines diverses

Il y a un triple ventilateur évaporateur.

La formule de la charge thermique est :

$$\text{➤ } Q_{\text{ven}} = \frac{n \cdot p \cdot t}{24}$$

Q_{ven} : charge thermique en W .

n : nombre de ventilateur .

p : puissance de ventilateur

t : durée de fonctionnement des ventilateurs en h/j.

Les données :

$$n = 3$$

$$p = 150 \text{ w}$$

$$t = 8 \text{ h/J}$$

$$Q_{\text{ven}} = \frac{3 \times 150 \times 8}{24}$$

$$\checkmark Q_{\text{ven}} = 150 \text{ W}$$

IV.6 : Les charges thermiques totale

La formule :

$$\text{➤ } Q_{\text{Tot}} = Q_{\text{int}} + Q_{\text{ext}}$$

$$\text{➤ } Q_{\text{Tot}} = Q_{\text{paroi}} + Q_{\text{re}} + Q_{\text{op}} + Q_{\text{S}} + Q_{\text{de}} + Q_{\text{per}} + Q_{\text{de}} + Q_{\text{ven}}$$

Application numérique :

$$Q_{\text{Tot}} = 421.91 + 323.74 + 278 + 470 + 6 + 78 + 1355 + 0$$

$$\checkmark Q_{\text{Tot}} = 3082.65 \text{ W}$$

IV.7 : Puissance frigorifiques intermédiaires

La formule :

$$\text{➤ } P_{\text{interm}} = Q_{\text{tot}} \times \frac{24}{T_{\text{ins}}}$$

tins : Durée de fonctionnement de l'installation .

$$t_{ins} = 8h$$

Application numérique :

$$P_{interm} = \frac{3082.65 \times 24}{8}$$

$$\checkmark P_{interm} = 9247.95 \text{ W}$$

IV.8 : Puissance frigorifiques prévisionnelle

On ajoute 10% à la puissance frigorifique intermédiaire .

$$\triangleright P_{prev} = P_{interm} \times 1.1$$

$$P_{prev} = 9247.95 \times 1.1$$

$$\checkmark P_{prev} = 10172.75 \text{ W}$$

IV.9 : Conclusion

Après avoir connu toutes les pertes de chaleur, dans le chapitre suivant, un système sera conçu qui pourra fonctionner de manière idéale selon les données requises dans cette recherche.

Chapitre V

Modélisation et optimisation

V.1 : Introduction

Dans ce chapitre, après avoir calculé la puissance frigorifique, nous allons créer une simulation et calculer les paramètres de chaque composant du système de refroidissement.

V.2 : La simulation

La simulation est un système numérique construit par ordinateur à l'aide de lois mathématiques. Les résultats de la simulation sont presque les mêmes que la réalité, donc pour connaître l'efficacité d'un projet avant sa mise en œuvre, une simulation doit être réalisée.

V.3 : COP

Les performances du module peuvent être évaluées par le COP coefficient de performance. Le COP est défini par le rapport de l'énergie transmise par rapport à celle qui est fournie.

De l'analyse du fonctionnement thermodynamique de la machine frigorifique, on déduit son efficacité énergétique. C'est le rapport entre la quantité de chaleur absorbée par l'évaporateur et la quantité d'énergie électrique totale absorbée par l'installation, soit principalement le compresseur, mais également les équipements annexes (ventilateurs, pompes de circulation d'eau, ...)

La formule de COP est :

$$COP = \frac{|Q|}{W}$$

Q chaud : désigne la valeur absolue de la chaleur utile en W .

W : est le travail mécanique absorbé par le compresseur en joule .

La Formule COP dans système froid est :

$$COP_{\text{refroidissement}} = \frac{Q_{\text{froid}}}{Q_{\text{chaud}} - Q_{\text{froid}}} = \frac{T_{\text{froid}}}{T_{\text{chaud}} - T_{\text{froid}}}$$

T_{froid} : La température de la source froide , l'intérieur d'une chambre froide

T_{chaud} : La température de la source chaude , milieu extérieur .

V.4 : Calculer la température dans chaque composant

Les données :

$$T_{\text{int}} = 6 \text{ °C} , T_{\text{ext}} = 40 \text{ °C}$$

V.4.1 : La température de l'évaporateur T_{eva} :

La formule de température est :

$$T_{\text{eva}} = T_{\text{int}} - \Delta\Theta_1$$

$\Delta\Theta$: La variation température entre l'évaporateur et l'intérieur d'une chambre froide

Remarque :

La température de l'évaporateur est toujours inférieure à la température de la zone à refroidir (généralement de 5 à 10 °C de moins).

Donc : Nous choisissons 5 °C

Application numérique :

$$T_{\text{eva}} = 6 - 5 = 1$$

$$T_{\text{eva}} = 1^\circ\text{C}$$

V.4.2 : La température de condensation T_{cod} :

La formule de température est :

$$T_{\text{cod}} = T_{\text{ext}} + \Delta\Theta_2$$

$\Delta\Theta_2$: La variation température entre milieu extérieur et condenseur .

Remarque

Elle est généralement de 10 à 15 °C au-dessus de la température ambiante (pour assurer le transfert de chaleur).

Nous choisissons 10 °C .

Application numérique :

$$T_{\text{cod}} = 40 + 10 = 50$$

$$T_{\text{cod}} = 50^\circ\text{C}$$

V.5 : Utiliser la simulation

Nous utilisons le logiciel SOLKANE pour simuler le système froid et calculer les puissances et le COP.

Les conditions :

Fluide froid : R134a

Puissance froid ≈ 11.2 KW

$$T_{\text{eva}} = 1^\circ\text{C}$$

$$\Delta\Theta_1 = 5^\circ\text{C} \text{ (La surchauffe)}$$

$$T_{\text{cod}} = 50^\circ\text{C}$$

$\Delta\theta_2 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ (Sous refroidissement)

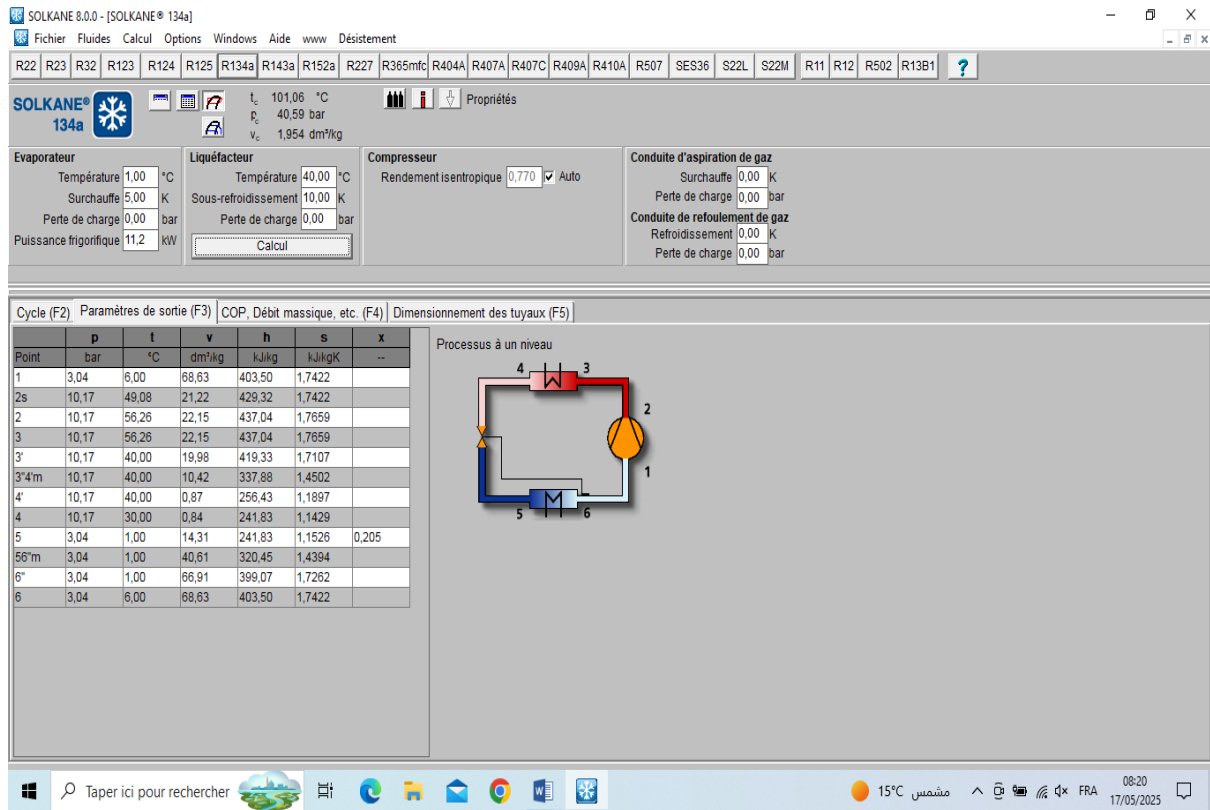


Figure V.1 : Les valeur d'état a chaque points .

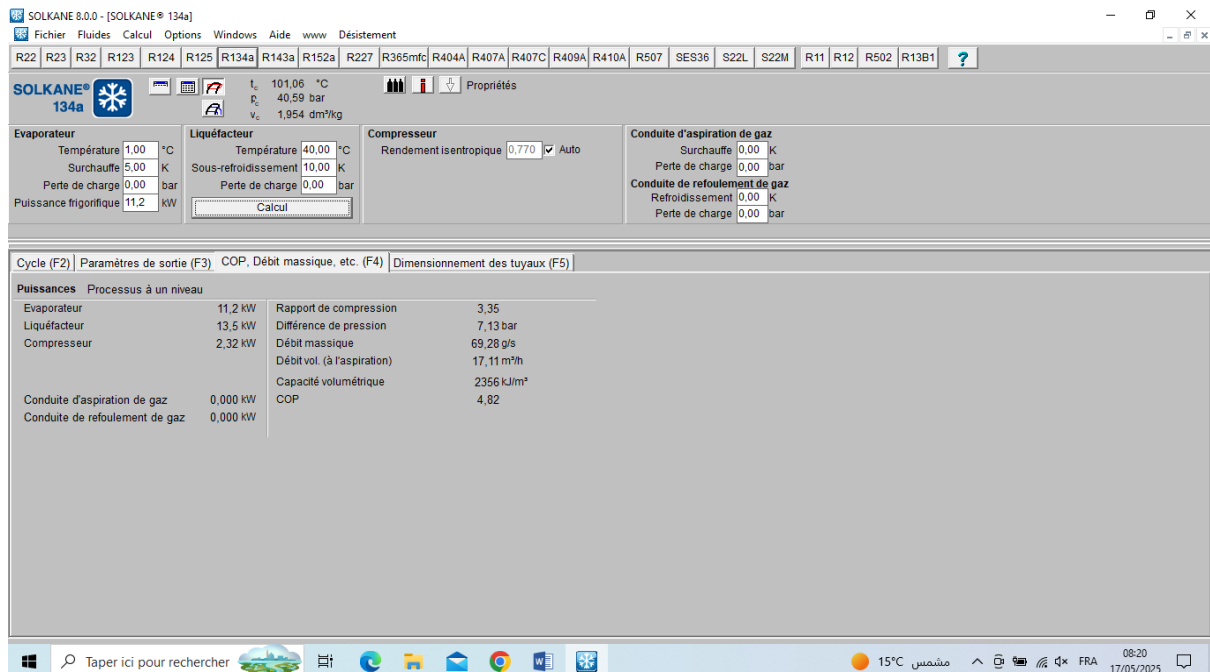


Figure V.2 : Les puissances

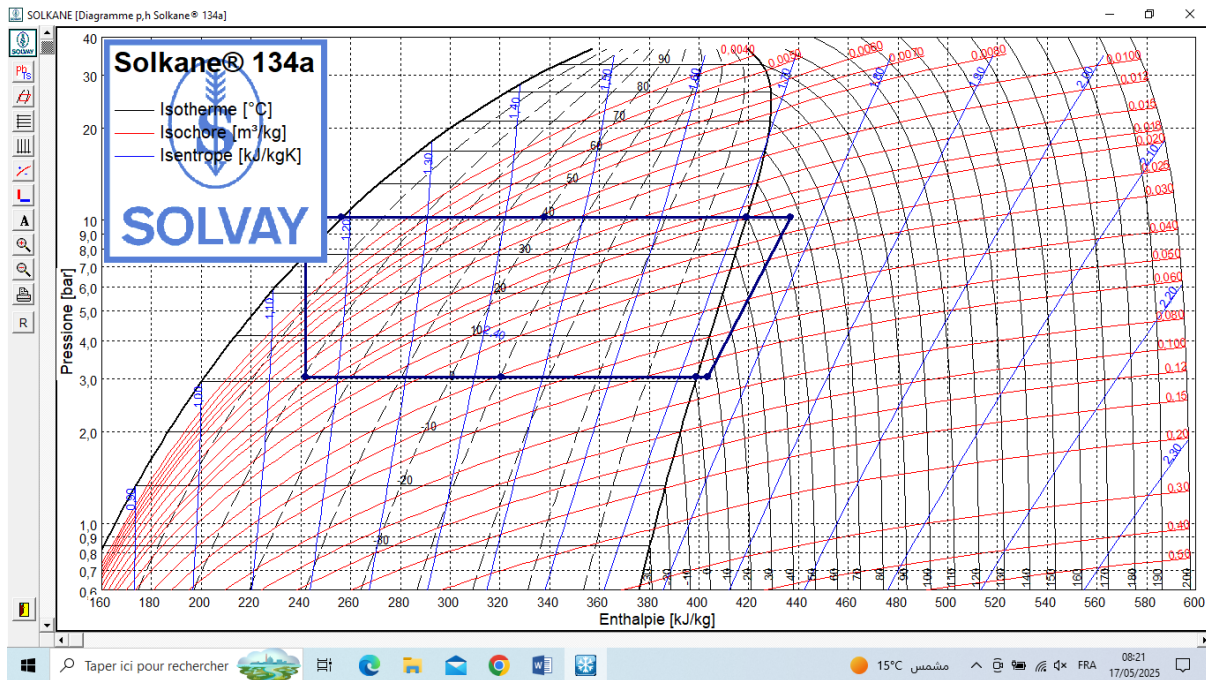


Figure V.3 : Diagramme P.h

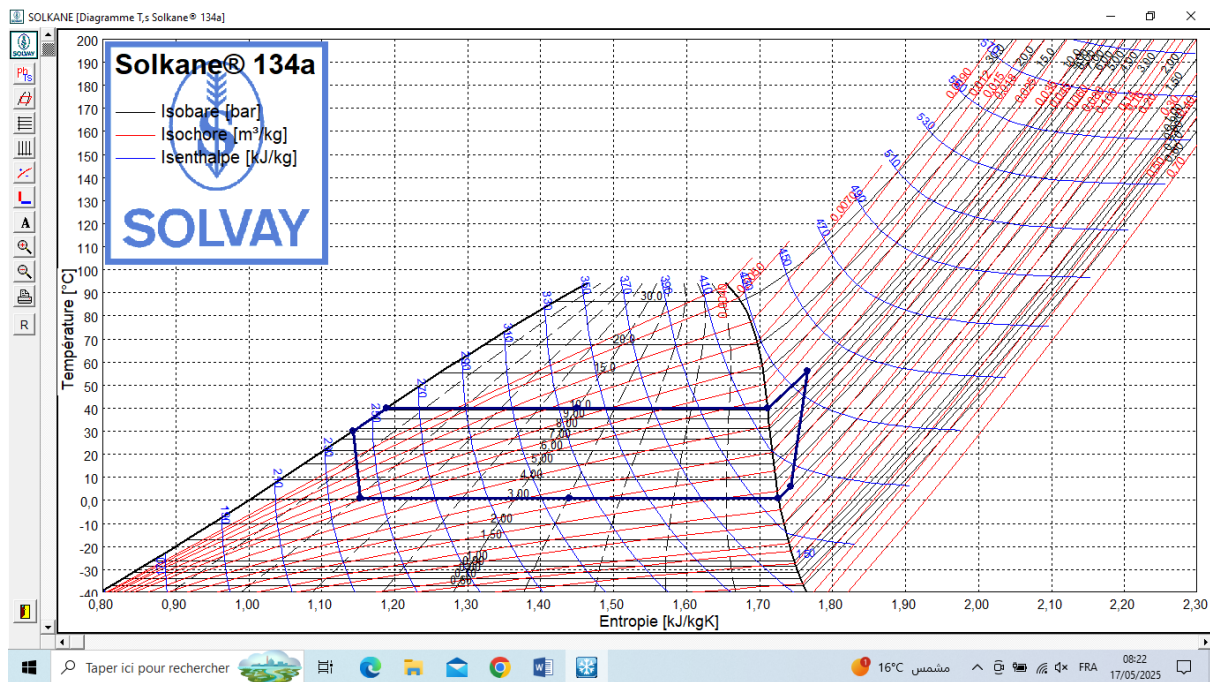


Figure V.4 : Diagramme T.S

V.6 : Résultats de simulation

La puissance de l'évaporateur : $P_{evap} = 11.2 \text{ KW}$

La puissance de compresseur : $P_{comp} = 2.32 \text{ KW}$

La puissance de condenseur : $P_{cond} = 13.5 \text{ KW}$

Coefficient de performance : $COP = 4.82$

V.7 : Choisir les composants

V.7.1 : Compresseur et condenseur

Nous utilisons le logiciel BITZER SOFTWARE

Après avoir posé les conditions, les résultats suivants sont apparus :

The screenshot displays the BITZER SOFTWARE interface. On the left, there are configuration panels for 'Série' (Standard), 'Fluide frigorigène' (R134a), 'Température de référence' (Point de rosée), and 'Type de compresseur' (Compresseur seul). Below these are sections for 'Sélection du compresseur' (Pouss. frigorifique: 11.2 kW), 'Point de fonctionnement' (Temp. d'évaporation: 1 °C, Température ambiante: 40 °C), 'Conditions de fonctionnement' (Surchauffe à l'aspiration: 10 K), and '(Couverture du) réseau électrique' (Fréquence du réseau: 50Hz).

In the center, a refrigeration cycle diagram shows a compressor (LH64E/4EES-4Y), a condenser, an evaporator, and a subcooler. Key temperatures are indicated: 55.9°C at the condenser inlet, 52.9°C at the condenser outlet, 40.0°C ambient temperature (tamb), 1.0°C at the evaporator inlet, and 11.0°C at the evaporator outlet.

On the right, a table compares four compressor group models:

Type Du Groupe	LH64E/4EES-4Y-40S	LH84E/4EES-6Y-40S	LH84E/4DES-6Y-40S	LH104E/4DE
Etages de puissance	100%	100%	100%	100%
Pouss. frigorifique	9.43 kW	10.16 kW	11.57 kW	12.36 kW
Pouss. évaporateur	9.43 kW	10.16 kW	11.57 kW	12.36 kW
Pouss. absorbée	4.23 kW	4.04 kW	4.72 kW	4.88 kW
Intensité (400V)	6.83 A	7.16 A	8.04 A	8.57 A
Plage des tensions	380-420V	380-420V	380-420V	380-420V
Débit masse	259 kg/h	265 kg/h	308 kg/h	315 kg/h
Temp. de condensation	55.9 °C	51.6 °C	53.3 °C	49.5 °C
Sous-refroid. du liquide	3.00 K	3.00 K	3.00 K	3.00 K
Mode de travail	Standard	Standard	Standard	Standard

Figure V.5 : Logiciel BITZER SOFTWARE

Le choix est

BITZER Software v7.0.4 rev11

Sunday 18. May 2025 7:12:52 PM / Toutes les données sans garantie 1 / 2

Aperçu du projet

Compresseur sélectionné

Groupes de condensation

1x LH64E/4EES-4Y



Figure V.6 : La groupe condensation LH64E/4EES-4Y

Fiche technique :

Informations techniques	
Poids	123 kg
Largeur totale	1000 mm
Profondeur totale	672 mm
Hauteur totale	837 mm
Raccord cond.d'aspiration	22 mm - 7/8"
Raccord conduite liquide	12 mm - 1/2"
Tension (50Hz, autres sur demande)	230V-1-50Hz (Standard)
Intensité / Puissance par ventilateur (50Hz)	1,5 A / 330 W
Débit d'air condenseur 50Hz	4600 m³/h
Tension (60Hz, autres sur demande)	230V-1-60Hz (Standard)
Intensité / Puissance par ventilateur (60Hz)	1,7 A / 340 W
Débit d'air condenseur 60Hz	4600 m³/h
Volume condenseur	2,23 dm³
Standard de livraison	
Réservoir de liquide avec vanne départ	Standard
Ligne de refoulement	Standard
Raccord pour soupape de sûreté	Standard
Ventilateurs: nombre	1 x EC
Charge de gaz neutre	Standard
Options disponibles	
ECOLINE avec VARISTEP (CRII)	Option
Condenseur avec protection anti corrosion, ailettes Alu protégées et tubes Cu.	Option
Séparateur d'huile avec clapet de retenue	Option
Pack d'accessoires (Pressostats HP/BP, câblage, ligne liquide, filtre déshydrateur voyant)	Option
Câblage des composants électriques vers boîte à bornes ou boîtier de raccordement	Option
Pressostat HP et BP ajustable	Option
Régulateur de vitesse pressostatique pour ventilateur	5 .. 15 bar // 8 .. 25 bar
Chauffage d'huile	Option
Clapet de retenue	Option
Réservoir de liquide surdimensionné	Option
Kit de montage pour capotage du groupe	Option
Niveau sonore mesuré	
Caract. des compresseurs: voir progr. compresseur	

V.7.2 : Détendeur

Nous utilisons le logiciel COOLSELECTOR2

Après avoir posé les conditions, les résultats suivants sont apparus :

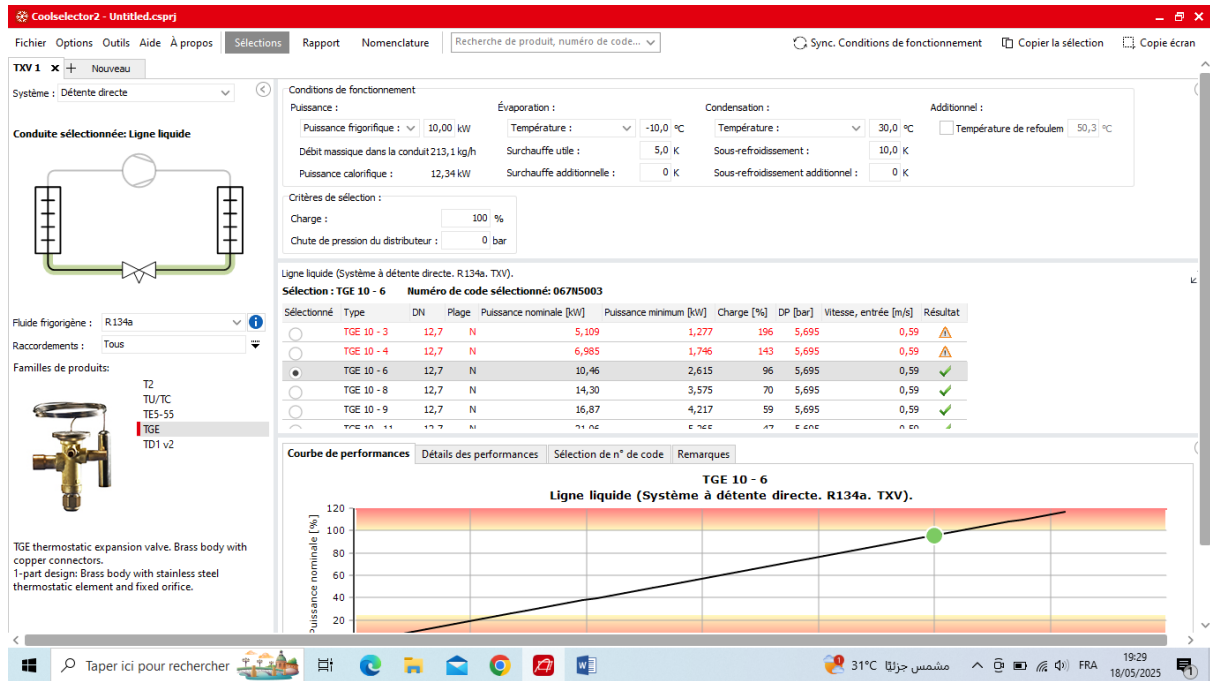


Figure V.7 : logiciel COOLSELECTOR2

Le choix est détendeur thermostatiques TGE 10 – 6



Figure V.8 : détendeur thermostatiques TGE 10 – 6

V.7.3 : Evaporateur

Nous utilisons le logiciel AIA CALC LU-VE

Après avoir posé les conditions, les résultats suivants sont apparus :

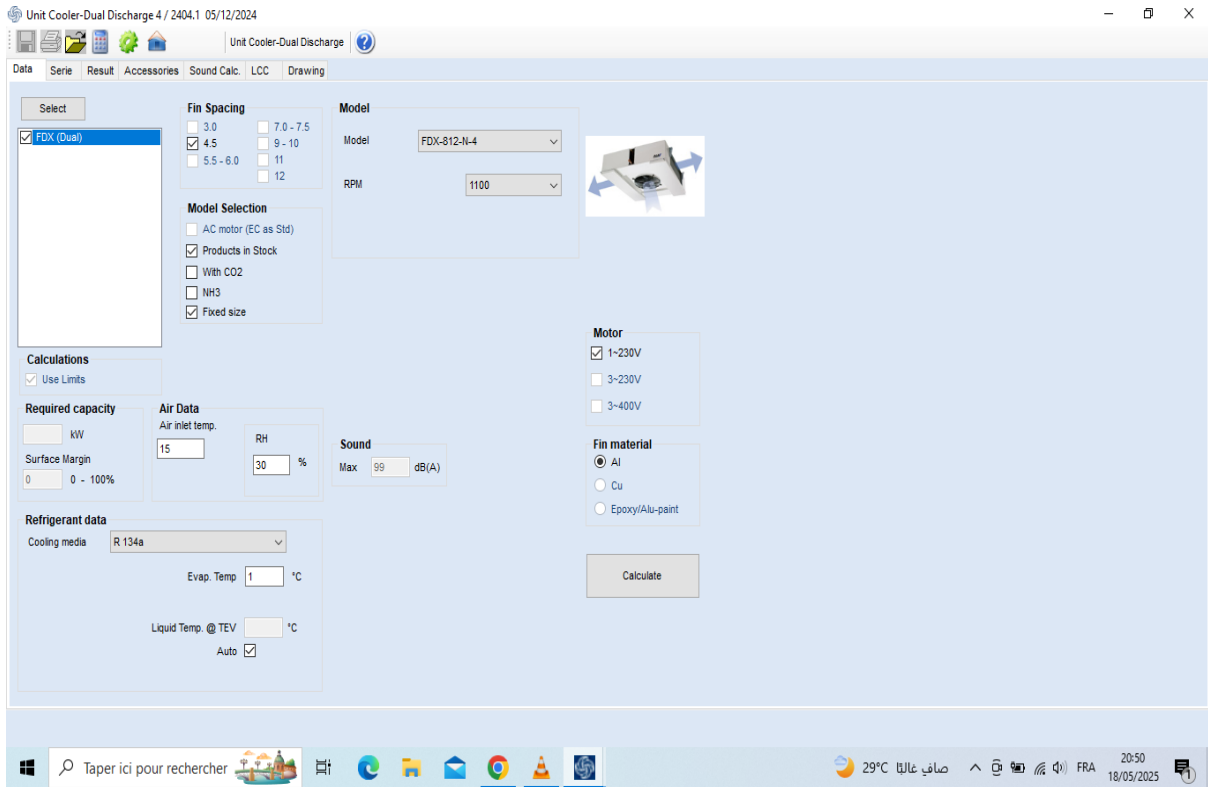


Figure V.9 : logiciel AIA CALC LU-VE

Le choix est FXD-812-N-4-STOCK



Figure V.10 : Evaporateur 3 ventilateurs

Fiche technique :

Model	FDX-812-N-4-STOCK
Total Capacity	4,81 kW
Sensible Capacity	4,81 kW
Fin material/spacing	Aluminium @ 4 mm
No. of Circuits	4
Air Throw	11 m
Tube Volume	2,3 l
Connections In/Out	1 x 12 mm - 1 x 28 mm
Sound Level	45 dB(A), 5 m EN13487
Sound Power Level, LwA	70 dB(A)
No. of Fans/Diameter/Speed	1 / 350 mm / 1100/min
Motor Data/motor	1~230 V 85 W 0,73 A Low Energy Motor - EC
Total Electric Inlet Power P1	85 W
Dimension L x W x H	888 x 886 x 263 mm
Surface Area	13,1 m² / +0,0 % Surface Margin
Dry Weight approx.	22 kg
Allowable Pressure, Ps	24 bar

Conclusion :

A la fin de ce chapitre, toutes les inconnues sont claires, les températures et les puissances de chaque composant sont connues, et grâce aux programmes de simulation, chaque composant du système de refroidissement est prêt.

CONCLUSION GENERALE

De nos jours, les centrales de refroidissement sont devenues un moyen très efficace de développement industriel dans n'importe quel pays.

Dans le même temps, les vieux conteneurs maritimes qui ont atteint la fin de leur durée de vie posent un sérieux problème.

Ainsi, dans ce projet, nous avons eu l'idée de transformer le conteneur en une nouvelle chambre froide mobile qui peut être placée n'importe où et qui résiste à toutes les conditions.

Dans cette recherche, nous avons découvert les panneaux d'isolation thermique et leur importance dans l'isolation de la chaleur extérieure, en particulier le polyuréthane, qui est le cœur de l'isolation thermique moderne.

Nous avons également calculé diverses charges thermiques internes et externes d'une petite lampe à un énorme soleil.

Et enfin, merci aux programmes BITZER SOFTWARE et COOLSELECTOR2 et AIA CALC LU-VE

Nous avons assemblé avec succès les composants du système de refroidissement et les avons installés dans la salle de refroidissement et tout fonctionne.

Ce fut un long travail qui s'est terminé par un succès.

Enfin, merci d'avoir lu ce projet.

Références

- [1] : Othman Jaber. Chambre froide. Autre. 2013. ffdumas-01222212f
- [2] : <https://www.dagard.com/blog/chambres-froides/chambre-froide-nega-posi/>
- [3] : « Petite histoire de la réfrigération [archive] », sur abcclim.net
- [4] : « Petite histoire de la réfrigération [archive] », sur abcclim.net (consulté le 25 mars 2020)
- [5] : <https://www.flickr.com/photos/medicalmuseum/3300143778/in/set-72157614294614418>
- [6] : www.nelinkia.com/blog/lexique/chambre-froide
- [7] : <https://www.intarcon.com/fr/types-de-chambres-froides/>
- [8] : ASHRAE Handbook – Refrigeration, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [9] : FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), "Cold Storage Technologies".
- [10] : https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9frig%C3%A9rateur_%C3%A0_compression_de_vapeur
- [11] : ASHRAE Handbook – Refrigeration, 2021
- [12] : <https://www.abcclim.net/absorption>
- [13] : microsoft copilot
- [14] : https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9n%C3%A9rateur_thermo%C3%A9lectrique
- [15] : C. Shein et R. Radermacher. Scroll compressor simulation model. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power 123 (2001).
- [16] : <https://areacooling.com/areacademy/fr/compresseurs-dfinition-classification-et-types/>
- [17] : <https://areacooling.com/areacademy/fr/condenseur/>
- [18] : <https://areacooling.com/areacademy/fr/detendeur/>
- [19] : <https://areacooling.com/areacademy/fr/evaporateur/>
- [20] : <http://ressources.unit.eu/cours/Thermoptim6/co/partie-2-cycle-refrigeration.html>
- [21] : AFNOR, Norme NF EN 378-1 : "Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d'environnement".
- [22] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_thermodynamique

Références

[23] : Sadi Carnot, Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance, Gauthier-Villars, 1824

[24] : cours machine frigorifique et pompe de chaleur , univérsiré relizane

[25] : www.ef4.be/fr/pompes-a-chaaleur/technique-generalites/cycle

[26] : cours machine frigorifique et pompe de chaleur , univérsiré relizane

[27] : www.ef4.be/fr/pompes-a-chaaleur/technique-generalites/cycle

[28] : Office québécois de la langue française (OQLF) Banque de dépannage linguistique – Conteneur

[29] : <https://www.atscontainers.com/fr/produits/conteneurs-neufs/product/20-high-cube-conteneur-neuf>

[30] : https://www.mot.gov.sy/web/magazine/magazine_det.php?id=52

[31] : <https://cooledsolutions.nl/fr/transport-de-conteneurs/doublures-disolation-pour-conteneurs-dexpedition/>

[32] : <https://netbox-containers.fr/tout-savoir-sur-les-containers-frigorifiques-ou-reefer/>

[33] : <https://asjp.cerist.dz/en/article/73313>

[34] : Organisation maritime internationale (OMI) – Règlement sur les conteneurs maritimes et la sécurité environnementale.

[35] : crée par open ai

[36] : bellat.dz

[37] : Cour "SHOBHIT INSTITUTE OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY DEEMED TO BE UNIVERSITY MEERUT "

[38] : <https://jeretiens.net/les-3-transferts-thermiques/>

[39] : Sachdeva R C, Fundamentals of Engineering Heat and Mass Transfer, New Age Science Limited, 2009

[40] : R.K.Rajput. Heat and mass transfer, S.Chand& co.,2015

[41] :Nag P K., Heat and Mass Transfer, McGraw Hill,2011

[42] : Kothandaraman, C.P., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, New Age Intemational, New Delhi, 2006

[43] : <https://www.oxy-com.com/fr/blog-et-nouvelles/calculer-et-r%C3%A9duire-la-charge-thermique-dune-installation-de-production>