



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département de Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :

DEKDOUK MEHDI

Le : mardi 28 juin 2022

Conception et Réalisation D'une Machine Frigorifique Didactique

Jury :

Pr	MOHAMDI Djomoui	MAB	Université de Biskra	Président
Dr	GUERBAAI Salah	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
M	LAKROUN Abdelghani	MAA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2021- 2022

Dédicace

Je dédie ce travail à ma chère famille, mes parents mes frères et sœurs et Tout mes amis, ainsi que mon père qui n'ont jamais hésité à me donner le courage et la force pour travailler et aller de l'avant pour atteindre ce rêve d'être diplômé en master .

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu tout puissant, de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme notre formation de Master et pouvoir réaliser ce travail de recherche.

Je tiens à remercier :

Mon encadreur Mr : GUERBAAI salah qui nous a proposé le sujet de ce mémoire et pour son suivi continu ainsi que sa bonne orientation du travail et la confiance qu'il nous a témoigné tout au long de ce travail.

Je remercie également les membres de jury :

Dr: MHAMDI djomoui Prédécent

Dr: LAKROUN Abdelghani Examineur

D'avoir acceptés d'honorer par leur présence la soutenance de notre mémoire de master

Nous adressons aussi nos remerciements à MR Masri Tahar Chef de Département Mécanique adjoint chargé de la pédagogie.

En fin je remercie tous ceux qui m'ont aidés de près ou de loin afin d'achever ce travail en particulier mes enseignants et mes collègues du département génie mécanique.

TABLES DES MATIERES

Dédicace	
Remerciements.....	
Table des matières.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des figures.....	
Nomenclature.....	
Introduction générale	08
Chapitre I- GENERALITE SUR LA PRODUCTION DE FROID	
I-1. Le Froid avant les machines frigorifiques	12
I-2. La production de la glace naturelle	12
I-2-1. La glace produite naturellement sans machines	12
I-2-2. Mélanges réfrigérants	12
I-3. Les notions de bases de la thermodynamique.....	13
I-3-6. Transmission de chaleur	15
I-3-7. Chaleur sensible et chaleur latente	16
I-3-13. Notion sur cycle une seule source de chaleur (monotherme)	18
I-4. La production du froid	19
I-5. Les moyens pour L'obtention du froid et applications les plus utilisables.....	22
I-5-1. Mélanges réfrigérants.....	22
I-5-2. Détente d'un gaz comprimé.....	23
I-5-3. Evaporation d'un liquide pur ou d'un mélange purs	23
I-6. Le confort thermique.....	26
I-6-1. La température ambiante (ou de consigne).....	27
I-6-2. La température des parois.....	27
I-6-3. Le mode chauffage.....	28
I-6-4. Les mouvements d'air	31
I-6-5. L'occupant.....	31

TABLES DES MATIERES

Chapitre II- MACHINE FRIGORIFIQUE

II-1. systèmes mécano-frigorifiques.....	34
II-1-1. Systèmes à compression de vapeurs liquéfiables.....	35
II-1-2. les systèmes utilisant des cycles à gaz	35
II-2. Systèmes thermo-frigorifiques	35
II-2-1. Frigorifiques continus à absorption.....	35
II-2-2. Systèmes frigorifiques à adsorption et thermochimiques.....	36
II-2-2. Systèmes frigorifique à éjection	36
II-3. Les machines thermiques dithermes réceptrice.....	36
II-4. Principe de fonctionnement d'un réfrigérateur et d'une pompe à chaleur	38
II-5. Principes de la thermodynamique appliqués aux machines thermiques.....	41
II-6. Les fluides frigorigènes	41
II-6-1. Critères de choix pour un fluide frigorigène.....	41
II-6-2. Classification.....	43
II-6-3. Impacts environnementaux.....	46
II-6-3-2. Réchauffement de la planète	48

Chapitre III- MACHINE FRIGORIFIQUE A COMPRESSION MECANIQUE

III-1. La machine frigorifique à compression mécanique.....	51
III-2. Le rôle d'une machine frigorifique.....	51
III-3. Principe de fonctionnement d'une machine	52
III-4. Les éléments constitutionnels d'une machine	53
III-5. Le cycle frigorifique	58
III-5-1. diagramme Enthalpique ou diagramme de Mollier	59
III-5-2. diagramme de Carnot.....	60
III-5-3. coefficient de performance	61
III-5-3-2. Efficacité énergétique théorique ou efficacité de Carnot	61

Chapitre IV- LA CONCEPTION

IV-1. La machine frigorifique à compression mécaniques description.....	64
---	----

TABLES DES MATIERES

IV-1-2.Caractéristiques générales	65
IV-2.Choix des composants principaux fluidiques de l'installation	67
IV-3.Choix des composants auxiliaires fluidiques de l'installation	71
IV-4.Principe de fonctionnement d'une machine frigorifique.....	72
Chapitre VII- ESSAIS ET RESULTAT	
V-1.Etude de l'efficacité de la machine frigorifique	75
V-1-5.Evolution des températures en fonction du temps	75
V-2-1.calcul de l'efficacité réelle de la pompe(COP).....	77
V-2-2.Evaluation de l'efficacité en fonction des températures	78
V-3-1.Comparaison de l'efficacité réelle avec l'efficacité idéale	81
V-4-1. Etude de fonctionnement sur le diagramme de Mollier.....	82
Diagramme de Mollier	83
Conclusion.....	84
Références bibliographiques.....	85
Résumé.....	86

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (I-1) : Exemple Mélange de réfrigérant.....	23
Tableau (II-1) : Exemples de désignation des corps purs R12 – R22 – R134a.....	44
Tableau (II-2) : Les valeurs le PAO de quelques fluides frigorigènes.....	47
Tableau (II-3) : Valeurs de GWP100 de quelques fluides frigorigènes.....	49
Tableau (V-1) les valeurs de (θ_f , θ_c).....	76
Tableau (V-2) les valeurs de Pth cote évaporateur.....	79
Tableau (V-3) les valeurs de Pth cote condenseur.....	79
Tableau (V-4) les valeurs de COPEv, COP cd.....	79
Tableau (V-5) les valeurs de COP.....	79
Tableau (V-6) les valeurs de COP, $\theta_c - \theta_f$	79
Tableau (V-7) les valeurs de COPMAX (ev), COP MAX (cd).....	81
Tableau (V-8) les valeurs des paramètres de fonctionnement de la machine.....	82

LISTE DES FIGURES

Figure (I-1) : Transfert de chaleur par conduction.....	15
Figure (I-2) : Transfert de chaleur par rayonnement.....	15
Figure (I-3) : Transfert de chaleur par convection.....	16
Figure (I-4) : principe d'une machine frigorifique à effet platier.....	20
Figure (I-5) : Principe de fonctionnement d'une machine frigorifique à compression mécanique ...	24
Figure (I-6) : Principe de fonctionnement d'une machine frigorifique à Absorption.....	25
Figure (I-7) : Principe de fonctionnement d'une machine frigorifique à compression cycle continu	26
Figure (I-8) : affichage température de consigne.....	27
Figure (I-9) : affichage température des parois.....	27
Figure (I-10) : chauffage par convection.....	28
Figure (I-11) : chauffage par rayonnement.....	29
Figure (I-12) : Affichage de la température.....	29
Figure (I-13) : émetteurs de chaleur.....	30
Figure (I-14) : Affichage de la température, humidité.....	30
Figure (I-15) : la circulation d'air.....	31
Figure (I-16) : l'occupant.....	31
Figure (II-1) : Représentation d'une machine thermique ditherme réceptrice.....	37
Figure (II-2) : Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur.....	39
Figure (II-3) : Principe de fonctionnement d'un réfrigérateur.....	40
Figure (III-1) : écoulement naturel de chaleur.....	51
Figure (III-2) : écoulement de chaleur dans une machine frigorifique.....	51
Figure (III-3) Schéma de base d'une machine frigorifique.....	52
Figure (III-4) Vues de compresseur hermétique.....	53
Figure (III-5) Vues de compresseur semis hermétique.....	54
Figure (III-6) Compresseur ouvert.....	54
Figure (III-7) Condenseur à air.....	55

Figure (III-8) : Détendeur type capillaire.....	56
Figure (III-9) : Détendeur type thermostatique à égalisation interne.....	57
Figure (III-10) : Evaporateur.....	58
Figure (III-11) Schéma d'une machine frigorifique de base.....	59
Figure (III-12) : Schéma d'une machine frigorifique de base avec cycle de référence.....	60
Figure (III-13) : cycle frigorifique de Carnot.....	60
Figure (IV-1) : machine frigorifique à compression mécanique.....	64
Figure (IV-2) : les composants principale de l'installation frigorifique.....	65
Figure (IV-3) : les composants fluidique de l'installation frigorifique.....	66
Figure (IV-4) : Compresseur hermétique.....	67
Figure (IV-5) : évaporateur à eau et condenseur è eau.....	68
Fig. (IV-6) : schéma fluidique d'une machine frigorifique.....	69
Figure (IV-7) : Voyant liquide.....	71
Figure (IV-8) : détendeur capillaire.....	72
Figure (IV-9) schéma de principe d'un circuit frigorifique	73
Figure (v-1) : évolution des températures en fonction du temps $\theta_F = f(t)$. $\theta_c = f(t)$	76
Figure (v-2) : Evaluation de l'efficacité en fonction des températures : $COP = f(\theta_c - \theta_f)$	80
Figure (v-3) : Courbes $COP_{MAX F}$, $COP_{MAX CD}$ en fonction du temps	81
Figure (v-4) : Cycle de la machine sur le diagramme de Mollier.....	82
Figure (v-5) : Evolution des F F de la machine frigorifique dans le diagramme de Mollier	83

NOMENCLATURE

T	La température	<i>K</i>
BTU	British Thermal Unité	
CV	Cheval	
P	Pression	<i>Bar</i>
S	L'entropie	<i>kJ/kg.K</i>
Q	La quantité de chaleur	<i>J</i>
W	Le travail	<i>J</i>
E	Energie	
Q _{gen}	La chaleur génératrice	<i>J</i>
Q _{ABS}	La chaleur absorbée	<i>J</i>
Q _{E in}	La chaleur entrée	<i>J</i>
Q _{C out}	La chaleur cédée	<i>J</i>
HP	Haut pression	<i>Bar</i>
BP	Basse pression	<i>Bar</i>
W _e	Travail entrant	<i>J</i>
p	La puissance	<i>W</i>
T _C	Température source chaude	<i>°C</i>
T _F	Température source froid	<i>°C</i>
Q _C	La chaleur de source chaude	<i>J</i>
Q _F	La chaleur de source froide	<i>J</i>
UV	Ultra violets	
GWP	Global Warning Potential (le potentiel d'action sur l'effet de serre)	
P _k	Pression de condensation	<i>Bar</i>

P_0	Pression d'évaporation	<i>Bar</i>
T_0	Température d'évaporation	$^{\circ}C$
FF	Fluide frigorigène	-
H	L'enthalpie	<i>KJ/kg</i>
COP	Coefficient de performance	-
$W_{Réel}$	Travail réel	<i>W</i>
η	L'efficacité énergétique	-
θ_{eff}	La température d'entrée de ff de l'évaporateur.	$^{\circ}C$
θ_{sff}	La température de la sortie de ff de l'évaporateur	$^{\circ}C$
θ_{ec}	La température d'entrée de condenseur	$^{\circ}C$
θ_{sc}	La température de sortie de condenseur	$^{\circ}C$
θ_{eau}	La température d'eau de l'évaporateur	$^{\circ}C$
\emptyset	Le diamètre des tuyaux	<i>m</i>
C	Circonférence du tuyau	<i>m</i>
D	Diamètre d'une spire	<i>m</i>
L'	Longueur d'une spire	<i>m</i>
n	Nombre d'une spire	
L	Longueur d'un tuyau	<i>m</i>
S	La surface d'échange de chaleur	m^2
P.A.C	Pompe à chaleur	-
θ_F	La température de l'eau de la source froide	$^{\circ}C$
θ_c	La température de l'eau de la source chaude	$^{\circ}C$
P_{Cp}	La puissance consommée par le compresseur	<i>W</i>
t	Temps	<i>s</i>
m	La masse	<i>Kg</i>

c_{eau}	La capacité thermique d'eau	$\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$
ρ	La masse volumique	Kg/m^3
V	Le volume de bac d'eau	L
dQ_F	La quantité de chaleur absorbée par le ff au réservoir d'eau froid	J
dQ_C	La quantité de chaleur cédé par le ff au réservoir d'eau chaud	J
COP_{MAX}	L'efficacité de Carnot	
θ_1	Sortie de l'évaporateur et entrée au compresseur	$^{\circ}\text{C}$
θ_2	Sortie du compresseur et entrée au condenseur	$^{\circ}\text{C}$
θ_c	Température de l'eau dans la source chaude (condenseur)	$^{\circ}\text{C}$
θ_4	Sortie de condenseur et l'entrée à la vanne de détente	$^{\circ}\text{C}$
θ_5	Sortie de détenteur et entrée à l'évaporateur	$^{\circ}\text{C}$
θ_f	Température de l'eau dans la source froide (évaporateur)	$^{\circ}\text{C}$

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Depuis des centaines d'années, l'homme vit dans cet univers en s'efforçant de fournir de la nourriture, de l'eau et de l'énergie pour maintenir la continuité de la vie et satisfaire ses besoins. Il apportait la neige naturelle des montagnes et la commercialisait et l'exploitait afin de préserver les matières périssables, en particulier les denrées alimentaires, et avec les changements successifs et l'émergence de l'ère de la technologie, où l'homme en est-il arrivé à la production de glace artificielle et à l'utilisation de nouvelles méthodes industrielles et de machines de refroidissement.

À l'ère actuelle, le champ d'application de la réfrigération industrielle s'est élargi dans plusieurs domaines particuliers, y compris industriels, tels que la liquéfaction du gaz naturel, les industries chimiques et pétrolières, afin d'extraire les dérivés du pétrole qui sont traités avec des boucles de circuits de refroidissement. Dans le domaine médical, la réfrigération est utilisée comme moyen de conservation de divers médicaments et du sang.

Parmi les systèmes de réfrigération courants dans les domaines commerciaux et domestiques, il y a le circuit de réfrigération du compresseur mécanique, qui est inclus dans plusieurs équipements, y compris le refroidissement du milieu pour stocker les matières périssables telles que les légumes et les fruits... et atteindre les conditions régulières pour le bien-être humain par la climatisation pour le confort humain en ajustant le degré nécessaire dans le cadre de vie à l'aide de machines Eau froide fonctionnant sur le principe d'une boucle de refroidissement de base.

Mais le fonctionnement du circuit frigorifique à compression nécessite une source d'énergie électrique, car il n'est possible de bénéficier du cycle frigorifique qu'en consommant une quantité d'énergie électrique au niveau du compresseur, car il est considéré comme le cœur du circuit frigorifique à travers le travail qu'il fait. Il y a un indicateur qui peut être calculé, qui est le cop coefficient de performance.

Connaissant le rendement du cycle frigorifique ou le coefficient de performance, c'est-à-dire que la valeur de l'énergie frigorifique utilisée est supérieure à la valeur de l'énergie électrique consommée ou au travail effectué par le compresseur, on dit dans ce cas que le cycle de réfrigération est très efficace.

Cet indicateur donne aux énergéticiens une idée générale en amont des performances du circuit frigorifique pour leur permettre d'effectuer des opérations de maintenance, de modifier le dimensionnement des composants du circuit frigorifique ou de localiser avec précision les défauts des pièces principales du circuit frigorifique. De ce qui précède, il est nécessaire de connaître les composants d'un circuit frigorifique à compression mécanique et comment calculer l'efficacité.

INTRODUCTION GENERALE

Le titre de notre travail représenté est porté sur la conception et réalisation d'une machine frigorifique didactique complète son importance dans la conception d'une machine de réfrigération à compresseur mécanique de manière simple et claire pour être un modèle pouvant être étudié par les étudiants à l'avenir en connaissant ses composants et calculer l'efficacité du cycle de réfrigération de base.

Les objectifs de notre étude sont représentés dans la façon d'établir le circuit frigorifique d'une machine frigorifique à compression mécanique et de connaître les éléments qui constituent ce circuit et leur fonctions.

-Comment obtenir et mesurer les paramètres de fonctionnement du circuit à partir de la température, de la pression d'évaporation et de condensation de la machine frigorifique à compression

-Calcul du coefficient de qualité.

-Dessinez le cycle de réfrigération d'une machine frigorifique à compression dans une courbe de Mollier

Le projet entre nos mains est divisé en deux volets, le premier théorique et le second pratique

Quant à l'aspect théorique, la recherche est divisée en trois chapitres Dans le premier chapitre, à travers la recherche approfondie, nous avons abordé les points suivants généralités sur la production du froid ; Le confort thermique et comment Obtenir du froid

Dans le deuxième chapitre qui est consacré à la présentation des machines frigorifique, les fluides frigorifiques.

Le troisième chapitre est porte sur machine frigorifique à compression mécanique ainsi le principe de fonctionnement et le cycle frigorifique, le coefficient de performance et a la fin la composition différents éléments.

L'aspect pratique, qui est divisé en deux partis,

La première concernant de la conception d'une machine frigorifique à compression est qui présent essentiellement des composant fluide comme le compresseur, l'évaporateur à eau, le condenseur à eau et le détendeur type capillaire.

La deuxième concernant les essais pour procédure de mesure et faire les calculs des plusieurs paramètres tel que : la température d'évaporations et de condensation ainsi la pression d'évaporations et de condensation et calcule le cop de l'installation et a la fin une conclusion générale.

INTRODUCTION GENERALE

Avant de commencer à expliquer le contenu des chapitres, il est nécessaire de connaître quelques notions de terminologie dans le domaine thermodynamique qui est intéressant pour notre étude.

Chapitre I :

Généralité sur la production de froid

Généralité sur la production de froid

I-1. Le Froid avant les machines frigorifiques : [1]

L'homme est utilisé la Glace Naturelle pour conserver surtout les produits périssables tel que les fruits et légumes...avant l'apparition des machines frigorifiques

L'Homme des pays tempérés s'est rapidement rendu compte que les denrées périssables pouvaient être conservées dans de bien meilleures conditions l'hiver que l'été.

L'utilisation du « froid naturel » s'est faite très tôt et aussi très longtemps puisqu'au début du 20ème siècle le marché de la glace naturelle était encore plus important que celui de la glace artificielle. [1]

I-2. La production de la glace naturelle :

I-2-1. La glace produite naturellement sans machines : [1]

- ✓ était soit issue, de façon permanente, de régions froides et transportée sur de longues distances.
- ✓ soit issue, de manière discontinue, des pièces d'eau des régions tempérées gelées par le froid hivernal. Il était nécessaire de conserver cette glace dans des édifices particuliers les « glaciers » dont les parois devaient être thermiquement isolantes.
- ✓ soit produite, toujours de manière naturelle, mais à l'instigation de l'homme, quand cela était possible. Ainsi, dans les pays au ciel très clair, on a pu produire de la glace dans des bassins largement ouverts vers le ciel. Le rayonnement thermique de l'eau permettait, dans certaines conditions atmosphériques, un refroidissement suffisant pour former de la glace.

I-2-2. Mélanges réfrigérants :

On s'est avisé, sans doute fortuitement, que le mélange de certains sels dans l'eau abaissait notablement la température de la solution ainsi obtenue. Le premier à avoir évoqué l'usage, en Inde, au 4ème siècle, de tels mélanges semble être l'écrivain arabe Ibn Abi Usaibia. On a ensuite découvert que le mélange de neige et de sels permettait d'atteindre des températures encore plus basses. Ces phénomènes ont été relatés par Battista Porta (1589) et Tancredo (1607). [1]

Après l'utilisation de la glace naturelle le développement de la technologie qui a une grande influence sur l'apparition des divers systèmes frigorifique.

On distingue dans le domaine du froid deux domaines distincts : [2]

-la réfrigération qui consiste à produire et maintenir une température inférieure à la température ambiante.

-la cryophysique qui est la science des propriétés de la matière à très basse température (quelque K).

-Avant de commencer d'expliquer le contenu de ce chapitre il est nécessaire de connaître quelques notions de base terminologie dans le domaine thermodynamique qui est intéressant pour notre étude.

I-3. Les notions de bases de la thermodynamique :

La technique frigorifique est une partie constituante de la thermodynamique qui traite du comportement des corps solides, liquides et gazeux.

« Thermo » Chaleur.

« Dynamique » Science des mouvements.

La thermodynamique étudie donc les mouvements thermiques, la notion de froid en thermodynamique n'existe pas, car le "froid" n'est généré que lorsque la chaleur est transportée d'un endroit vers un autre endroit présentant une température plus élevée. Lors de ce processus, l'espace refroidi, la substance ou le corps possède toujours une capacité thermique, tant que la température est située au-dessus de $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (zéro absolu).

Produire du froid, c'est enlever de la chaleur ; la température permet de constater qu'un corps est plus chaud qu'un autre. La lecture du thermomètre donne l'intensité de la chaleur, mais pas la quantité de chaleur contenue dans ce corps. Il faut donc distinguer la différence entre la température et la quantité de chaleur. : [3]

I-3-1. Température

C'est le niveau auquel la chaleur (énergie calorifique) se trouve dans un corps. Elle caractérise l'action plus ou moins énergique de la chaleur sur nos sens. C'est la température qui nous permet de dire qu'un corps est plus ou moins chaud qu'un autre.

-L'unité de mesure de la température dans le S.I. sont exprimées en $^{\circ}\text{C}$ (degré Celsius) on rencontre aussi les degrés Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) et les degrés Kelvin ($^{\circ}\text{K}$). : [4]

-La conversion des températures de l'échelle Celsius dans l'échelle Fahrenheit se fait comme suite :

$$T^{\circ}\text{F} = 1.80 T^{\circ}\text{C} + 32 \quad , \quad T^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (T^{\circ}\text{F} - 32) \quad , \quad T^{\circ}\text{K} = T^{\circ}\text{C} + 273$$

I-3-2. Chaleur

La chaleur est une forme d'énergie.

(Energie de mouvement des molécules) qui va d'un point le plus chaud (température plus élevée) vers un point froid (température moins élevée).

-d'après théorème de Clausius Entre deux système en contact thermique, la chaleur s'écoule naturellement du système dont la température est la plus élevée vers celui dont la température le moins élevée''. [5]

- C'est la sensation perçue par nos organes des sens lorsque nous sommes placés devant un foyer en activité ou un corps incandescent.

- Mesure des quantités de chaleur : unité de quantité de chaleur dans le système S.I. c'est le Joule(J)

Mais la Kcal (Kilocalorie) est également utilisée ainsi le Frigorie (Fg).

- Conversion des unités : 1kcal=4.1855KJ, 1 Frigorie = -4.1855KJ.

Dans les pays utilisant le système anglo-saxon de mesure l'unité c'est la B.T.U. (British Thermal Unit).

B.T.U. c'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 livre d'eau (1 lb= 0.453 kg) pour élever sa température de 1 °F.

I-3- 3. La puissance :

La puissance c'est le rapport de l'énergie absorbée ou fournie sur l'unité de temps

L'unité de mesure de la puissance c'est le Watt(W)

1 kW=860kcal/h

1kcal/h = -1 Fg/h= 1.163w

1cv (cheval) =736w

I-3-4. Le froid

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

I-3-5. Echange de chaleur :

Lorsque deux corps sont en présence, la chaleur va toujours du corps chaud au corps froid,

l'échange de chaleur ne cessant que lorsque les deux corps sont à la même température.

Exemple :

Corps froid : l'évaporateur d'un système frigorifique.

Corps chaud : les denrées entreposées dans le réfrigérateur.

I-3-6. Transmission de chaleur :

La chaleur peut se transmettre d'un corps à un autre par trois modes de la transmission différente : [4]

- ✓ conduction
- ✓ rayonnement
- ✓ convection

I-3-6-1. Par conduction :

La transmission de la chaleur par conduction a lieu dans un seul et même corps lorsque ses présentent des températures différentes. Ou d'un corps à un autre si ses deux corps ayant des températures différentes sont en contact. Figure (I-1)

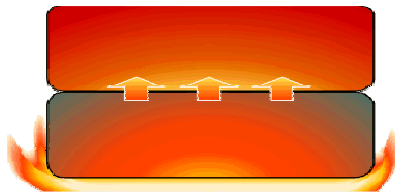


Figure (I-1) : Transfert de chaleur par conduction

I-3-6-2. Par rayonnement :

Les rayons calorifiques se propagent en ligne droite dans l'espace. et émis par un corps à température élevée ils sont absorbés partiellement par le corps plus froids qui forment écran à leur propagation. la partie non absorbé est réfléchi d'une façon identique à la réflexion des rayons lumineux par un miroir. Figure (I-2)

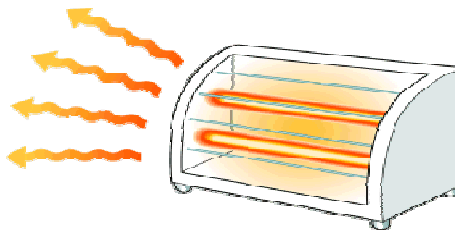


Figure (I-2) : Transfert de chaleur par rayonnement

I-3-6-3. par convection :

Ce mode de transmission est propre aux liquides et au gaz

Le medium (liquide ou gaz) entre en mouvement par différence de densité, les parties chaudes étant plus légères et véhiculant la chaleur. Figure (I-2)



Figure (I-3) : Transfert de chaleur par convection

I-3-7. Chaleur sensible et chaleur latente :

Un corps (ou une substance) peut recevoir ou fournir de la chaleur sous deux formes différentes :

- ✓ **sous formes sensible** : l'absorption de chaleur sous cette forme se manifeste par une élévation de température du corps récepteur : si le corps a au contraire, fourni de la chaleur sa température s'abaisse.

Absorption ou fourniture de chaleur ne provoquent pas de modification d'état physique du corps.

- ✓ **sous forme latente** : l'absorption de chaleur par un corps sous cette forme ou la fourniture de chaleur par ce corps se caractérise par une constante de la température du corps et par son changement d'état physique. [4]

I-3-8. Chaleur massique d'un corps :

C'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 kilogramme de ce corps pour élever sa température de 1°C. Sans modifier son état physique.

Par définition : la chaleur massique de l'eau est, à pression normale (1013mbar) de 4185 joules par kilogramme et par degré Celsius à 15°C (4.185 kJ/kg.K).

I-3-9. Chaleur latente de vaporisation :

C'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir 1 kilogramme d'un corps pour le faire passer de

l'état liquide à l'état gazeux, sans élever sa température.

Elle varie suivant la nature et la température du liquide.

I-3-10. Chaleur latente de liquéfaction :

C'est la quantité de chaleur qu'il faut enlever à 1 kilogramme d'un corps pour le faire passer de l'état gazeux à l'état liquide sans abaisser sa température.

I-3-11. La pression :

Définition générale de la pression :

Etant donné une force F s'appuyant sur la surface A d'un corps on dit que cette force exerce une pression $p = F/A$: [4]

C'est la pression exercée par l'unité de force agissant sur l'unité de surface du système d'unités considéré.

✓ Unité de pression :

Le pascal : c'est la pression exercée par une force de 1 newton agissant uniformément sur une surface de 1 m².

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 1.02 \text{ kgf/cm}^2 = 0.086 \text{ atm}$$

$$1 \text{ bar} = 14.54 \text{ PSI} = 10.2 \text{ mce (mètre de colonne d'eau)}$$

PSI : Pound per Square Inch (Livre par Pouce carré)

1-3-12. Pression atmosphérique :

C'est la pression exercée sur la surface de tous les corps par la couche gazeuse qui constitue l'atmosphère.

✓ Pression relative : elle est mesurée à partir de la pression atmosphérique.

✓ Pression absolue : elle est mesurée à partir du vide absolu.

Pression absolue = pression relative + pression atmosphérique.

La pression relative est donnée par la lecture des manomètres.

I-3-13. Notion sur cycle un seul source de chaleur(monotherme) :**I-3-13-1.Source de chaleur :**

Une source de chaleur est un system thermodynamique dont la température reste constante quels que soient les échanges thermiques qu'il peut avoir avec tout autre système. [5]

I-3-13-2.cycle : on dit qu'un système subit une évolution cyclique lorsqu'il repasse périodiquement par les mêmes états.

Le cycle est l'ensemble des évolutions du système entre deux passages successifs dans les mêmes sens d'un même état.au cours d'un cycle l'état initial et l'état final sont donc, par définition, identique, c'est-à-dire que toutes les variables et fonctions d'état retrouvent les mêmes valeurs.

I-3-13-3.Cycle monotherme :

Une évolution cyclique est mono-thermes si au cours d'un cycle le système en évolution n'a de contact thermique qu'avec une seule source de chaleur.

Et par convention, on notera toujours positivement les travaux et quantités de chaleur effectivement reçues par le système et négativement les travaux et chaleur cédés.

I-3-13-4. L'entropie :

C'est un fonction d'état S nommée entropie dont les variations ΔS lors d'un processus sont la somme de deux termes correspondant l'un $\Delta_e S$ à des cause extérieures l'autre $\Delta_i S$ à des causes internes , avec $\Delta_e S = \int \frac{\delta Q}{T}$ ou δQ est la chaleur reçue par tout élément à température T . $\Delta_i S$ est toujours positif , $\Delta_i S$ serais nul pour tout processus réversible .[5]

I-3-13-5. Théorème de Kelvin

Soit un cycle mono-thermes au cours duquel un système reçoit de la source à la température T_0 une quantité de chaleur Q .

T étant la température du système : on a donc : $Q > 0$ si $T < T_0$ et $Q < 0$ dans le cas contraire.

Soit W le travail que le system reçoit de l'extérieure au cours du cycle. On a d'après le deuxième principe de la thermodynamique :[5]

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int \frac{\delta Q}{T} + \Delta S_i = 0 \text{ avec } \Delta S_i \geq 0 \quad (\text{I-1})$$

Donc $\int \frac{\delta Q}{T} < 0$ et puisque $T > 0$ alors $Q = \int \delta Q < 0$

De même, d'après le première principe, on a aussi $E_2 = E_1$ et donc

$$\Delta E = E_2 - E_1 = W + Q = 0 \quad (\text{I-2})$$

D'où finalement $W > 0$

Ainsi au cour d'une évolution cyclique monotherme un système reçoit du travail de l'extérieure et fournit de la chaleur à la source.

C'est le théorème de Kelvin (Un système en évolution cyclique monotherme ne peut pas fournir de travail. [5])

I-4. La production du froid :

La production de froid qui consiste à absorber la chaleur contenue dans un milieu peut être obtenue suivant plusieurs modes qui sont :

I-4-1. Détente d'un gaz comprimé : [6]

La détente d'un gaz comprimé peut s'effectuer de deux manières.

-La détente sans travail extérieur ou détente Joule-Thomson qui s'effectue au travers d'un robinet ou d'un orifice ne fournit pas de travail extérieur. Si le gaz détendu était parfait, cette détente ne s'accompagnerait d'aucune variation de sa température. Selon le gaz réel et son état thermodynamique avant détente, cette dernière peut s'accompagner d'un refroidissement du gaz, c'est ce que l'on cherche, ou, dans certains cas, d'un échauffement.

-La détente avec travail extérieur s'effectue dans un détendeur mécanique approprié. Le refroidissement que l'on peut attendre d'une telle détente est bien supérieur à celui obtenu par le mode de détente précédent. L'importance du refroidissement du gaz dépend : de sa nature, de ses conditions thermodynamiques initiales, du taux de détente du gaz (rapport de la pression initiale à la pression finale), de la qualité du détendeur mécanique et des échanges thermiques entre cet appareil et l'extérieur.

Ces modes de refroidissement, en particulier le second, sont largement mis en œuvre pour la production des basses températures (cryogénie) et la liquéfaction des gaz. [6]

I-4-2. La sublimation d'un solide :

Consiste à le faire passer de l'état solide à l'état vapeur par absorption de chaleur, le cas le plus courant est celui du CO₂ qui à la pression atmosphérique a une température de sublimation de –

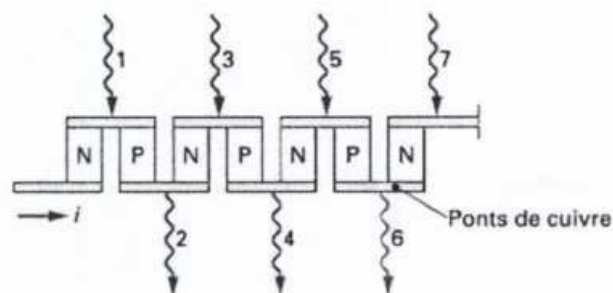
78.9°C. Ce procédé peut être utilisé pour la congélation rapide de denrées sans utilisation d'une machine frigorifique (congélation cryogénique).

I-4-3. La fusion d'un corps solide :

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

I-4-4. Le refroidissement thermoélectrique : (effet Peltier)

Lorsque l'on fait passer un courant continu i dans un circuit hétérogène constitué, par exemple, de deux métaux dissemblables alternativement associés en série par des soudures thermoélectriques voir Fig. (I-4), les soudures d'une même parité sont le siège d'une absorption de chaleur tandis que celles du parti opposé sont le siège d'un dégagement de chaleur. Dans les systèmes actuels, les matériaux dissemblables sont des semi-conducteurs (comme par exemple le composé Bi₂Te₃) que l'on dope avec des atomes donateurs d'électrons pour le rendre N ou accepteurs d'électrons pour le rendre P. Ce mode électronique de production de froid, après avoir suscité beaucoup d'espoirs, n'est pas actuellement en mesure de concurrencer les modes précédents dont l'efficacité est beaucoup plus grande. Son emploi est, présentement, très marginal (petits réfrigérateurs transportables, refroidissement d'éléments d'appareils de mesure comme le miroir des appareils à point de rosée, etc.). L'inversion du sens du courant inverse les effets thermiques aux jonctions. [6]



Les soudures (ponts de cuivre) impaires absorbent de la chaleur, les soudures paires en rejettent. Ces soudures thermoélectriques relient alternativement l'un à l'autre les conducteurs dissemblables N et P.

Figure (I-4) : principe d'une machine frigorifique à effet Peltier [6]

I-4-5. La dissolution d'un sel dans l'eau :

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

I-4-6. La désaimantation adiabatique :

Consiste en une réorganisation du cortège électronique d'un corps, ce qui permet l'obtention de très basses températures (10⁻² à 10⁻⁶ K).

I-4-7. La vaporisation d'un liquide :

Permet de produire du froid par l'absorption de la chaleur à travers un échangeur (évaporateur), la vapeur produite étant ultérieurement liquéfiée dans un autre échangeur (condenseur), le fluide décrit ainsi un cycle au sein d'une machine fonctionnant de manière continue.

Les machines utilisant ce principe peuvent être regroupées en deux grandes familles que sont :

- ✓ les machines frigorifiques à compression mécanique.
- ✓ les machines frigorifiques à absorption.

-La vaporisation d'un liquide en circuit fermé reste la méthode la plus utilisée pour la production du froid. La production de froid pour les besoins domestiques, commerciaux et industriels nécessitent l'utilisation d'un dispositif capable d'extraire de la chaleur dans le milieu à refroidir pour la rejeter dans un milieu dit extérieur, ce dispositif qui obéit nécessairement au second principe de la thermodynamique est appelé « machine frigorifique ».

-Le froid peut être produit directement ou indirectement.

On parle de refroidissement direct lorsque la substance à refroidir (par exemple l'air) est en contact avec le fluide circulant en circuit fermé dans la machine (par l'intermédiaire de l'échangeur).

Le refroidissement est dit indirect lorsqu'on utilise un fluide intermédiaire (par exemple l'eau) entre la substance à refroidir (l'air) et le fluide circulant en circuit fermé dans la machine. Le fluide intermédiaire est appelé fluide frigoporteur.

-Mais les machines les plus courantes fonctionnent en vaporisation le fluide frigorigène

Si l'on désire une production de froid continue il est nécessaire de réaliser un cycle. Les machines frigorifiques seront donc au moins bitherme.

I-5. Les moyens pour l'obtention du froid et applications les plus utilisables:

On peut expliquer d'une façon prisee actuellement qu'il existe trois moyens principaux de production du froid. [4]

- ✓ Mélanges réfrigérants.
- ✓ Détente d'un gaz comprimé.
- ✓ Evaporation d'un liquide pur.

Ce troisième moyen reste seul utilisé pour les besoins industriels en réfrigération, congélation et conditionnement d'air la vaporisation d'un liquide en circuit fermé (machine frigorifique). [4]

I-5-1. Mélanges réfrigérants :

La dissolution de certains sels dans certains liquides nécessitant une absorption de chaleur cette dissolution sera productrice de froid.

Exemples de mélanges réfrigérants: Le tableau suivant [4]

Eau	1 partie en poids	Abaisse de +10 ⁰ c à -15 ⁰ c
Nitrate d'ammonium	1 partie en poids	
Eau	1 partie en poids	Abaisse de +10 ⁰ c à -22 ⁰ c
Nitrate d'ammonium	1 partie en poids	
Carbonate de soude	1 partie en poids	
Neige	2 parties en poids	Abaisse de 0 ⁰ c à -20 ⁰ c
Chlorure de sodium	1 partie en poids	
Neige	12 parties en poids	Abaisse de 0 ⁰ c à -32 ⁰ c
Chlorure de sodium	5 parties en poids	

Nitrate d'ammonium	5 parties en poids	
Neige Chlorure de calcium	4 parties en poids 5 parties en poids	Abaisse de 0 ⁰ c à -40 ⁰ c
Neige Potasse	3 parties en poids 4 parties en poids	Abaisse de 0 ⁰ c à -40 ⁰ c
Glace sèche avec : Chlorure d'éthyle Chlorure de méthyle		Peut abaisser jusqu'à -60 ⁰ c Peut abaisser jusqu'à -82 ⁰ c

Tableau (I-1) : Exemple Mélange de réfrigérant

I-5-2. Détente d'un gaz comprimé :

La compression d'un gaz élevant sa température, réciproquement la détente d'un gaz comprimé abaissera la température du gaz détendu c'est sur ce principe que sont basées les machines permettant la liquéfaction des composants de l'air (azote – oxygène – néon etc....).

I-5-3. Evaporation d'un liquide pur ou d'un mélange purs :

L'application de ce phénomène donne lieu à trois types de machines frigorifiques.

I-5-3-1. Machines à évaporation et compression d'un gaz liquéfiable :

-ce sont pratiquement les seules utilisées en réfrigération ménagère et commerciale.

L'évaporation d'un liquide appelé fluide frigorigène produit le froid. Pratiquement on récupère la vapeur du fluide évaporé et par compression et refroidissement, on le fait revenir à l'état liquide pour qu'il puisse s'évaporer à nouveau. [4]

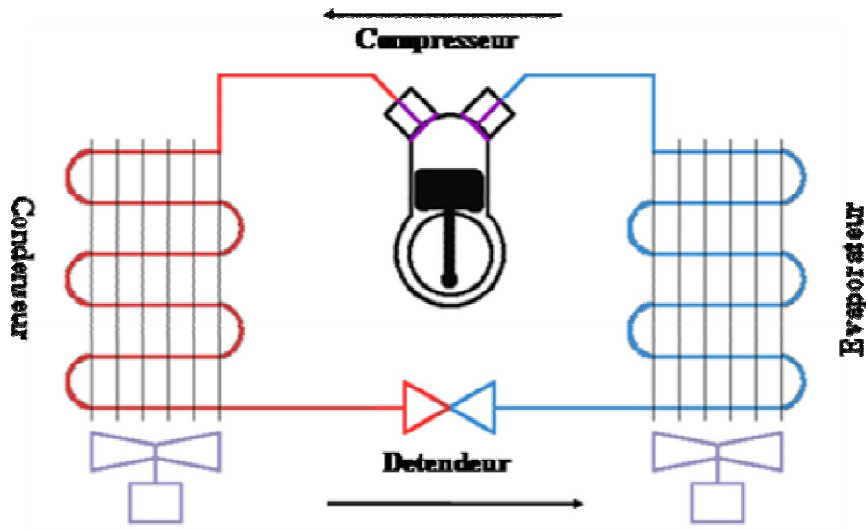


Figure (I-5) : Principe de fonctionnement d'une machine frigorifique à compression mécanique

I-5-3-2. Machines à absorption :

Basées sur cette propriété que la solubilité d'un gaz dans un liquide sur lequel il n'existe aucune action chimique diminue lorsque la température croît ainsi, l'eau à 0°C absorbe presque 1000 fois son volume de gaz ammoniac et baisse dégager la majeure partie du gaz absorbé si le mélange est chauffé vers 120°C/ 130°C.

Le gaz libéré est liquéfié puis s'évapore en produisant du froid et retourne dans l'absorbeur ou il se dissout de nouveau dans l'eau. [4]

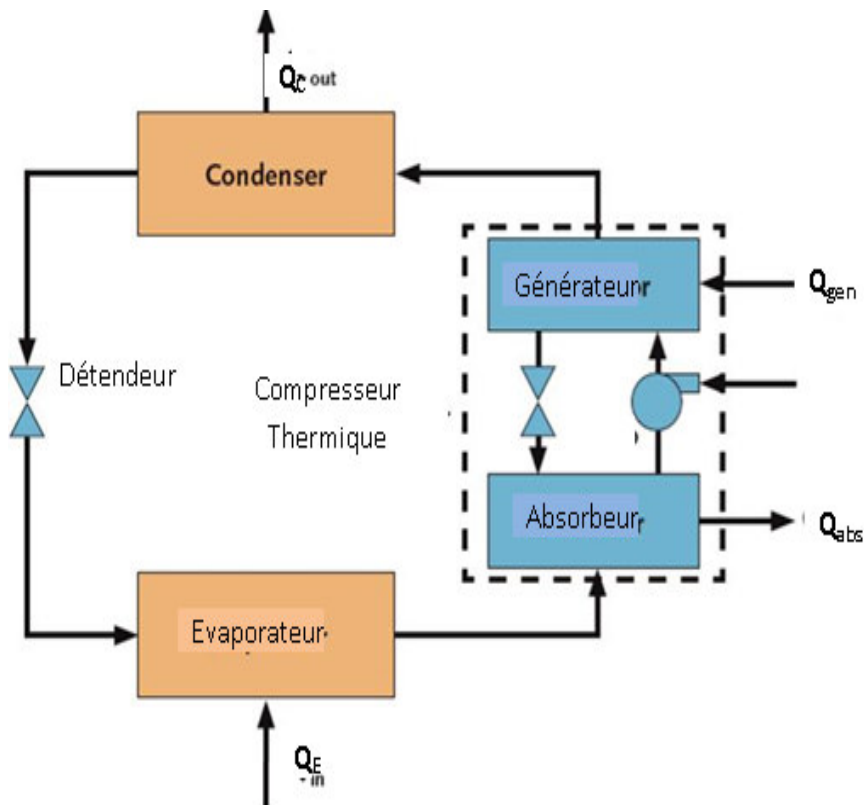


Figure (I-6) : Principe de fonctionnement d'une machine frigorifique à Absorption

-L'utilisation de deux composants (exemple, ammoniac comme fluide et l'eau comme absorbant). La solution pauvre d'ammoniac est chauffée, ses gaz sont refroidis puis détendus. L'aspiration et la compression ne sont plus mécaniques mais thermiques.

I-5-3-3. Réfrigération automatique (cycle continu de réfrigération) :

Un système de réfrigération commercial comprend quatre parties principales :

- ✓ **L'évaporateur** dans lequel le fluide frigorigène s'évapore en absorbant dans le réfrigérateur la chaleur fournie par les denrées à refroidir.
- ✓ **Le groupe de condensation**, qui est la machine chargée de comprimer les vapeurs de fluide frigorigène venant de l'évaporateur et par cette compression, permet la condensation du fluide comprimé.
- ✓ **Un organe de détente**, qui règle la quantité de fluide frigorigène à admettre dans l'évaporateur. [4]

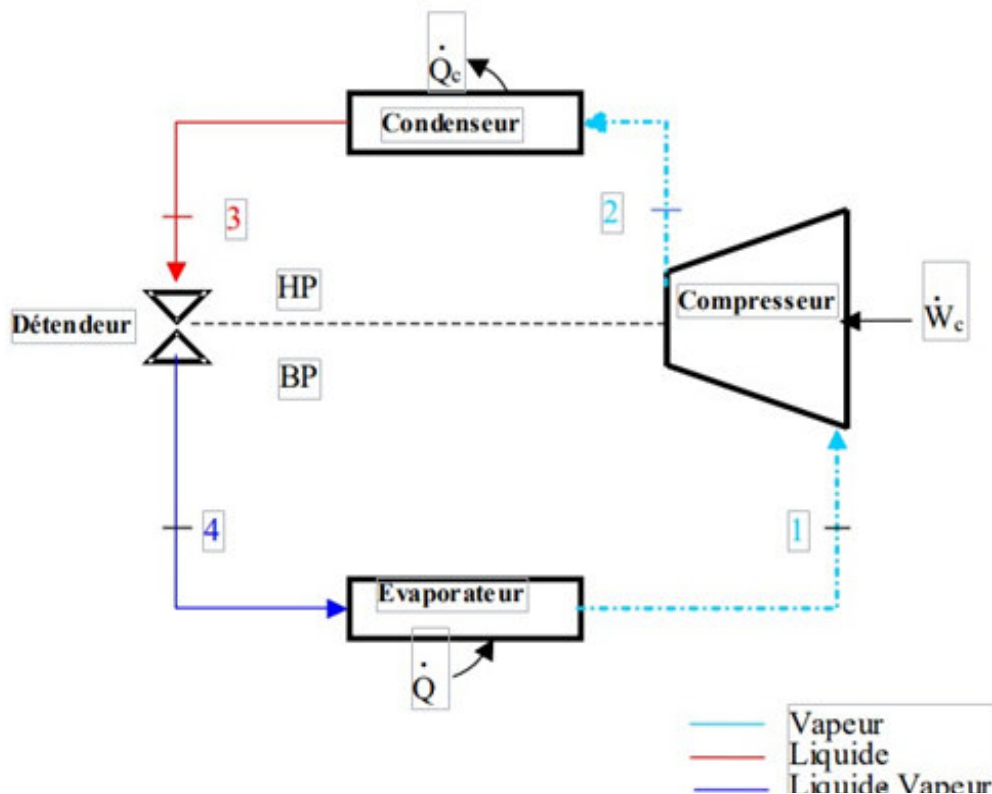


Figure (I-7) : Principe de fonctionnement d'une machine frigorifique à compression cycle continu [11]

I-6. Le confort thermique :

Le confort thermique est une sensation liée à la chaleur qui est propre à chacun. En hiver, un bon confort thermique doit garantir une sensation suffisante de chaleur. En été, il doit limiter cette chaleur pour éviter les surchauffes. Quels sont les différents critères qui influencent ce confort thermique et comment obtenir un «bon» confort thermique ? Voici quelques éléments de réponses. [7]

- ✓ La température ambiante (ou de consigne)
- ✓ La température des parois
- ✓ Le mode chauffage
- ✓ Les mouvements d'air
- ✓ L'occupant

I-6-1. Température ambiante (ou de consigne)



Figure (I-8) : affichage température de consigne

C'est le premier critère qui vient à l'esprit, qui même s'il est déterminant, n'est pas le seul. Pour obtenir un confort thermique satisfaisant, il faut paramétrer une température de consigne suffisante. On a l'habitude de dire que la température ambiante de confort se situe entre 19°C et 20°C. Attention à ne pas surchauffer car passer de 20°C à 21°C entraîne une surconsommation d'énergie d'environ 7%. La nuit et en période d'inoccupation, cette température pourra être abaissée de 2 à 3°C grâce à la régulation du chauffage.



Figure (I-9) : affichage température des parois

I-6-2. La température des parois :

La température des parois a une grande influence sur la température ressentie. Pour calculer simplement la température ressentie, il faut faire la moyenne entre la température des parois et la température ambiante. Par exemple, pour une température d'ambiance de 20°C :

- Cas n°1 : Température de paroi de 16°C : la température ressentie sera de 18°C
- Cas n°2 : Température de paroi de 19°C : la température ressentie sera de 19,5°C

Pour une même température de consigne, le confort thermique sera insuffisant dans le cas 1 et satisfaisant dans le cas 2. Pour augmenter la température des parois, il convient d'isoler correctement son logement en limitant le plus possible les ponts thermiques. Il faut également mettre en place des vitrages performants dont la pose aura été soignée.

I-6-3-Le mode chauffage

✓ La production de la chaleur

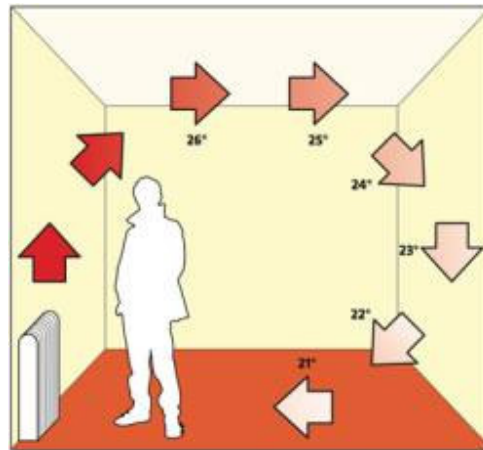


Figure (I-10) : chauffage par convection

I-6-3-1-Dans le cas d'un chauffage par convection :

L'air en mouvement est utilisé pour transférer la chaleur du système de chauffage vers les occupants. De fait, l'air chaud remonte et l'air froid reste au niveau du sol. En conséquence, il se crée une stratification de l'air (plus chaud en haut qu'en bas) qui provoque un inconfort thermique (froid aux pieds). De plus, le chauffage par convection tend à assécher l'air, ce qui peut être désagréable. On trouve parfois un humidificateur d'air accolé au convecteur pour limiter ce ressenti (réserve d'eau liquide). Aussi, les convecteurs peuvent accentuer la sensation de courant d'air qui provoque de l'inconfort et oblige à chauffer plus. Enfin, ces éléments de chauffage sont très chauds (autour de 90°C sur le corps de chauffe), ce qui peut poser des problèmes de sécurité chez les enfants. Les « convecteurs » (ou « grilles pains ») ou autres « soufflants » sont donc à éviter notamment quand les volumes à chauffer sont importantes. [7]

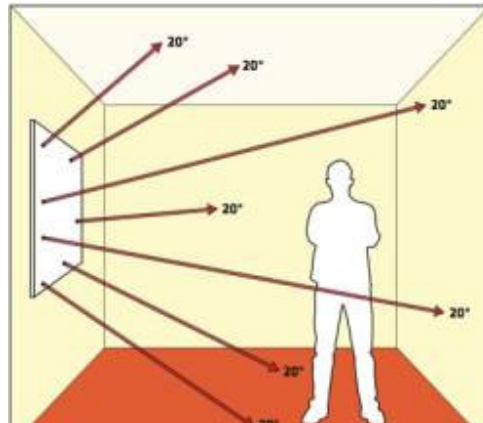


Figure (I-11) : chauffage par rayonnement

I-6-3-2-Dans le cas d'un chauffage par rayonnement :

Ce sont des ondes infrarouges qui sont utilisées pour transférer la chaleur du système de chauffage vers les occupants. Il y a peu de stratification de l'air et le confort thermique est meilleur. Parmi les chauffages par rayonnement, on peut citer : le plancher chauffant, les poêles de masse (à restitution lente de la chaleur), les radiateurs électriques à inertie et les radiateurs à eau.

Il existe des modes de chauffage qui utilisent à la fois la convection et le rayonnement, ils apportent un confort thermique satisfaisant. On peut citer : les panneaux rayonnants et les poêles à granulés.

✓ Les variations de températures :



Figure (I-12) : Affichage de la température

Le confort thermique est meilleur lorsque l'amplitude des températures est faible. On peut considérer qu'une amplitude de 1°C est acceptable. Par exemple, vous réglez la température de consigne à 20°C. Le chauffage va produire de la chaleur jusqu'à atteindre 20.5°C, puis ne se remettra en route qu'à 19.5°C. Pour lisser au mieux les températures, il faut mettre en

place une régulation efficace. Dans les faits, tous les modes de chauffage ne sont pas capables d'une régulation si fine. Pour les poêles à granulés notamment, on accepte une amplitude de 2°C. En été, des protections solaires couplées à une forte inertie thermique évitent les surchauffes. [7]

✓ **La distribution de la chaleur :**



Figure (I-13) : émetteurs de chaleur

Une bonne homogénéité de la température entre les pièces améliore le confort thermique. Cette harmonie est plus facile à atteindre lorsqu'il y a plusieurs émetteurs de chaleur (des radiateurs dans chaque pièce). Dans le cas d'un unique point chaud, comme un poêle à granulés, les températures sont moins homogènes. De ce fait, il faut limiter la surface chauffée par ces systèmes. A titre d'exemple, la Réglementation Thermique 2012 limite l'usage d'un poêle à granulés à une surface de 100m² afin d'obtenir une régulation correcte des températures. Une bonne homogénéité de la température entre les pièces améliore le confort thermique.

✓ **L'humidité relative de l'air (hygrométrie)**



Figure (I-14) : Affichage de la température, humidité

Un taux d'humidité situé entre 40% et 60% permet un bon confort thermique. Avec un taux d'humidité élevé, on aura tendance à augmenter la température de consigne (surconsommation d'énergie). A l'inverse, on aura tendance à diminuer la température de consigne dans un environnement plus sec (maisons RT 2012 notamment) mais il n'est pas recommandé de

descendre en dessous de 40%. Pour réguler au mieux l'humidité, il est nécessaire de mettre en place une ventilation mécanique contrôlée.

I-6-4. Les mouvements d'air :

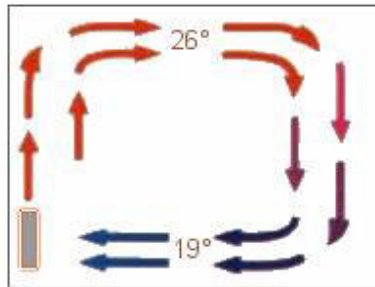


Figure (I-15) : la circulation d'air

Les mouvements d'air accentuent les échanges de chaleur par convection. Par exemple, quand la météo affiche une température réelle de 0°C, la température ressentie peut être de -7°C sous l'effet du vent. L'homme perçoit les mouvements d'air à partir d'une vitesse de 0.2m/s (0,7 km/h). Pour éviter ces flux d'air, on peut mettre en place une ventilation mécanique qui assure une vitesse de l'air assez faible. Cette vitesse est plus difficile à gérer dans le cas d'une ventilation naturelle. Le choix du chauffage est également important (les convecteurs renforcent les mouvements d'air), de même qu'une bonne étanchéité à l'air du bâtiment, en particulier au niveau des ouvrants.

I-6-5. L'occupant



Figure (I-16) : l'occupant

En fonction de sa sensibilité, de son activité et de sa tenue, l'occupant va également avoir une influence sur le confort thermique. Plus l'occupant a une activité physique soutenue et plus il est habillé chaudement, plus la température de consigne pourra être faible. Porter des pulls en hiver est donc un bon moyen de faire des économies d'énergie ! La sensibilité de chacun est

également à prendre en compte. L'âge est une variable importante de ce ressenti (jeunes enfants et seniors notamment).

Conclusion : Comment obtenir un bon confort thermique ?

En définitive, c'est l'occupant du logement lui-même qui est le plus apte à définir le « bon » confort thermique. Ce confort thermique résulte de nombreux paramètres comme les températures d'ambiance et des parois, les modes de chauffage, le taux d'humidité ou les mouvements d'air. Pour obtenir un confort thermique satisfaisant, il faut agir au niveau du bâti, des systèmes et des occupants. Au niveau du bâti, une isolation suffisante et des fenêtres performantes évitent le phénomène de parois froides et diminuent les mouvements d'air. Au niveau des systèmes, une température de consigne autour de 19-20°C couplée à une bonne régulation et l'utilisation d'une VMC hygroréglable améliorent le confort thermique, tout en limitant les consommations d'énergie. Enfin, au niveau des occupants, une tenue adaptée à la saison est indispensable. [7]

Chapitre II

MACHINE FRIGORIFIQUE

Nous distinguerons deux grandes classes de systèmes frigorifiques :

- ✓ Ceux qui consomment pour fonctionner de l'énergie mécanique ou son équivalent, les systèmes mécano-frigorifique.
- ✓ Ceux qui consomment essentiellement de l'énergie thermique, les systèmes thermo-frigorifiques. [1]

II-1.systèmes mécano-frigorifiques :

Parmi eux, deux familles se détachent :

- ✓ les systèmes à compression de vapeurs liquéfiables,
- ✓ les systèmes utilisant des cycles à gaz

II-1-1.Systèmes à compression de vapeurs liquéfiables : [1]

Le fluide actif du cycle frigorifique, le frigorigène, se vaporise dans un évaporateur en produisant le froid utile. La vapeur produite est aspirée et comprimée par un compresseur mécanique. Elle est refoulée dans un condenseur où elle se liquéfie. Le liquide formé retourne vers l'évaporateur en traversant un régleur (ou détendeur). Ce système est, de très loin, le plus répandu. Une première description du cycle a été donnée en 1805 par l'américain Oliver Evans (1755-1819)

Les premières machines à compression qui eurent un succès industriel sont le fait d'un écossais émigré en Australie,

Les machines étaient fabriquées en Angleterre, elles pouvaient produire de la glace ou refroidir des saumures, liquides frigoporteurs.

Le frigorigène était toujours l'éther éthylique.

De nouveaux frigorigènes firent ensuite, successivement, leur apparition comme

- l'éther di méthylique utilisé par le français Charles Tellier (1828-1913).

- le dioxyde de carbone CO₂ utilisé par l'américain Thaddeus Lowe (1832-1913).

- l'ammoniac NH₃,

- le dioxyde de soufre SO₂ par le suisse Raoul Pierre mais il disparut au seuil de la seconde guerre mondiale.

-le chlorure de méthyle (chlorométhane) CH₃Cl,

- les hydrocarbures fluorés ; Recherchant des frigorigènes de sécurité (non toxiques et non inflammables) et s'inspirant des travaux de Swarts, (en1893-1907) à Gand, mis au point en 1930 la production des premiers frigorigènes fluorés. Apparurent

successivement le premier CFC, le R12 (CF₂Cl₂) en 1931, puis le premier HCFC, le R22 (CHF₂Cl), en 1934 et, en 1961,

Premier mélange azéotropique R502 (R22/R115). Depuis la publication, en 1974,

Les frigorigènes chlorés, CFC et HCFC sont soumis, par le Protocole de Montréal (1987) et ses amendements à des processus d'éviction.

Actuellement sont proposés des frigorigènes fluorés mais non chlorés, des HFC purs comme le R134a ou des mélanges de HFC (R410A, R407C, R404A, etc.) fluides qui ont une action plus ou moins forte sur l'effet de serre.

On propose aussi l'utilisation (ou le retour) des frigorigènes « naturels », plus contraignants mais avec une action très faible ou nulle sur l'effet de serre comme l'ammoniac, les hydrocarbures, l'eau, le CO₂. [1]

II-1-2.les systèmes utilisant des cycles à gaz :

Ici le fluide actif ne change pas d'état au cours du cycle frigorifique mais reste gazeux. Comprimé, le gaz s'échauffe, on le refroidit alors, sous pression, jusqu'à la température ambiante puis on le détend ce qui entraîne un abaissement de sa température. La première « machine à air », à cycle ouvert, est due à l'américain John Gorrie (1803-1855) pour refroidir de la saumure à -7°C.

Le développement de ces systèmes fut moindre que celui des machines à compression de vapeur car leur efficacité est plus réduite dans le domaine courant de la réfrigération, de la congélation et de la climatisation. Elles sont, par contre, à l'origine de la plupart des cycles cryogéniques pour la liquéfaction des gaz et la production des basses températures. [1]

II-2. Systèmes thermo-frigorifiques :

On distingue, parmi ces systèmes frigorifiques consommant de l'énergie thermique :

- ✓ Les systèmes à absorption,
- ✓ Les systèmes à adsorption et thermo-chimiques
- ✓ Les systèmes à éjection

II-2-1. Frigorifiques continus à absorption :

Bien que leur importance soit beaucoup plus réduite que celle des systèmes à compression, ce sont, actuellement, les seuls systèmes thermo-frigorifiques qui connaissent un certain développement. Ici la circulation du frigorigène n'est pas due à un compresseur mécanique mais à la circulation, par pompe, d'un liquide absorbant dont la teneur, en frigorigène absorbé, dépend de la température et de la pression. Le travail mécanique nécessaire est très réduit, le système, en contrepartie, consomme de la chaleur. Le père de ces systèmes est le français Ferdinand Carré (1824-1900) qui

breveta en 1859 la première machine à absorption continue utilisant le couple frigorigène : ammoniac – absorbant : eau. [1]

II-2-2. Systèmes frigorifiques à adsorption et thermo-chimiques :

Ils apparurent plus tardivement, essentiellement dans la première moitié du 20ème siècle. Leur fonctionnement, basé sur les effets thermiques qui accompagnent la sorption ou la désorption physique d'un gaz sur un solide (systèmes à adsorption) ou bien la formation, ou la décomposition, de composés chimiques avec un gaz frigorigène (systèmes thermo-chimiques) est naturellement discontinu. Encore peu utilisés, ils font l'objet, actuellement, de nombreuses recherches. [1]

II-2-2. Systèmes frigorifique à éjection :

Bien qu'il puisse être utilisé avec d'autre frigorigene,c'est avec l'eau que le système frigorifique à éjection entra en scène en 1908.l'abaissement de température de l'eau, qui se vaporise sous basse pression est obtenue en aspirant la vapeur formé au moyen d'un éjecteur, ou trompe ,alimenté par un jet de vapeur vive provenant d'une chaudière l'éjecteur est une tuyère d'abord convergente, l'accroissement de la vitesse du jet diminue la pression ce qui permet l'aspiration voulue-puis lentement divergente-l'augmentation progressive de la section offerte à la vapeur ralentit sa vitesse et la pression remonte. [1]

II-3. Les machines thermiques dithermes réceptrice :

On distingue les machines motrices ($W < 0$) et les machines réceptrices ($W > 0$).

Machine motrice : Conversion de chaleur en travail, $W < 0$.

Machine réceptrice : Transfère de la chaleur d'une source froide vers une source chaude (frigo, pompe `a chaleur) C'est le cas de notre étude.

II-3-1.Une machine thermique :

Est un système fonctionnant grâce à un fluide auquel on fait subir des transformations afin de réaliser un échange d'énergie par transfert thermique et par travail avec l'extérieur. [8]

Pour assurer un fonctionnement en continu, une machine thermique doit fonctionner en cycles : le fluide qui circule dans la machine revient dans son état initial après un cycle.

II-3-2. Une machine ditherme

est une machine thermique dont le fluide, au cours d'un cycle, va être en contact avec deux sources thermiques, une source froide à la température T_f et une source chaude à la température T_c .

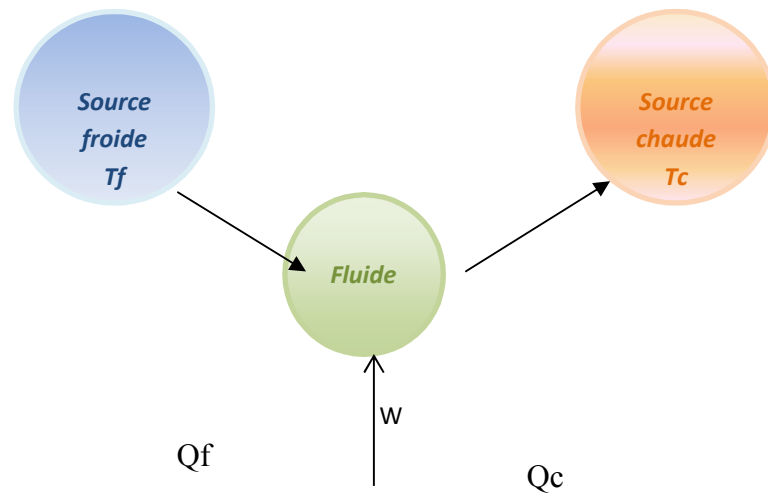


Figure (II-1) : Représentation d'une machine thermique ditherme réceptrice.

La machine échange une énergie thermique Q_c avec la source chaude, Q_f avec la source froide et un travail W avec l'extérieur.

II-3-3. Une machine thermique réceptrice :

Reçoit du travail de l'extérieur et transfère de l'énergie thermique d'une source froide vers une source chaude. Il existe une convention de signes d'un système thermodynamique : l'énergie que le système reçoit du milieu extérieur est positive et l'énergie fournie par le système au milieu extérieur est négative.

Il en résulte $W > 0$, $Q_c < 0$ et $Q_f > 0$.

Deux exemples concrets de machines thermiques réceptrices sont le réfrigérateur et la pompe à chaleur. [8]

II-4.Principe de fonctionnement d'un réfrigérateur et d'une pompe à chaleur :

Une machine thermique est constituée d'un circuit fermé dans lequel circule un fluide de travail appelé fluide frigorigène. Ce circuit est composé de quatre éléments principaux : un compresseur, un détendeur et deux échangeurs thermiques (le condenseur et l'évaporateur). Lors d'un cycle, le fluide frigorigène change d'état (liquide ou vapeur) et se trouve à des pressions et des températures différentes. [8]

Les quatre étapes du cycle sont détaillées ci-dessous :

-La compression : Le compresseur comprime le fluide à l'état vapeur et augmente ainsi sa pression et sa température.

-La condensation : Dans le condenseur, le fluide frigorigène cède de l'énergie thermique en passant de l'état vapeur à l'état liquide.

-La détente : En traversant le détendeur, la pression et la température du fluide frigorigène diminue

-L'évaporation : Dans l'évaporateur, le fluide frigorigène capte de l'énergie thermique et passe ainsi de l'état liquide à l'état vapeur.

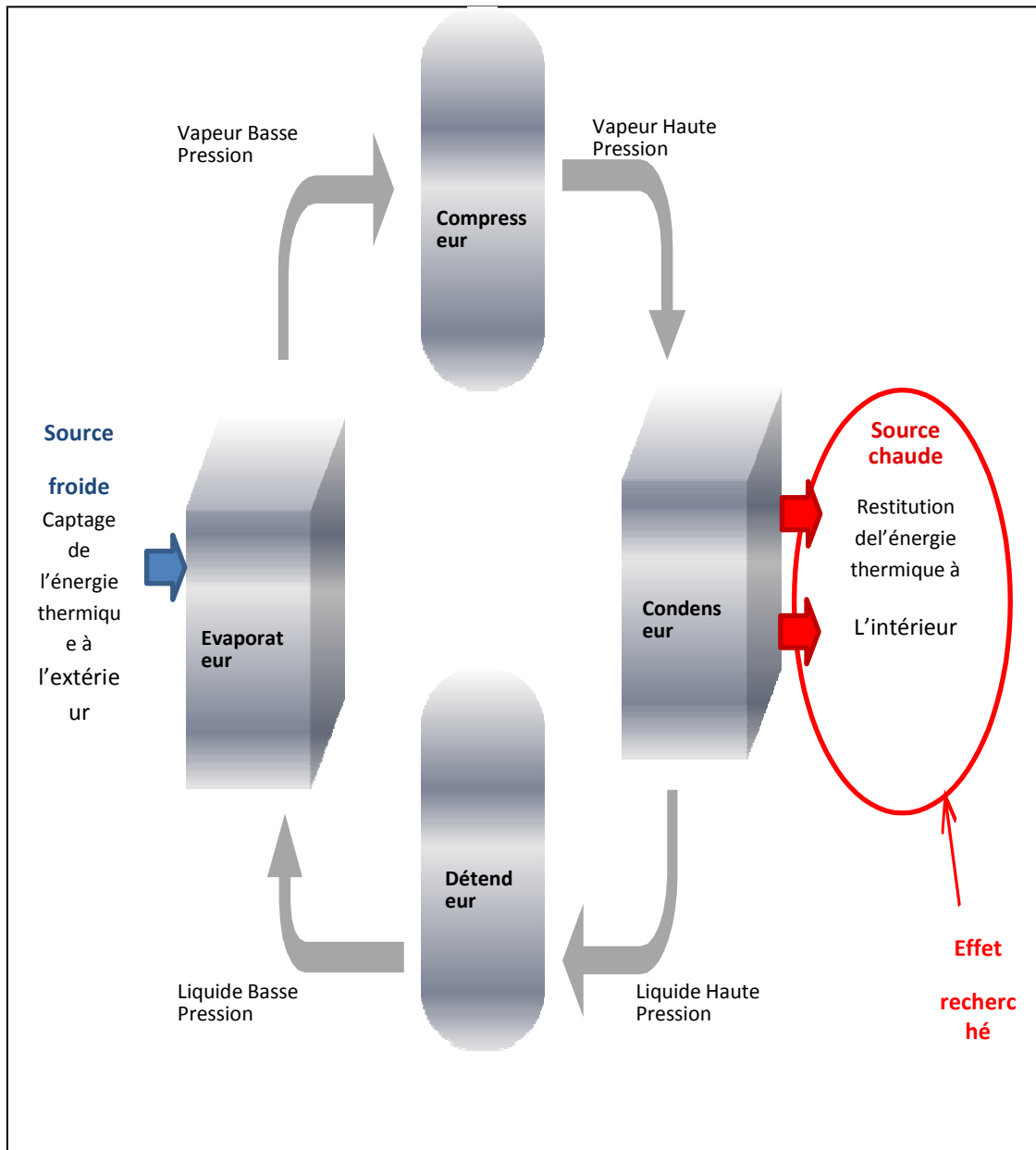


Figure (II-2) : Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur.

II-4-1. Pompe à chaleur :

Dans le cas d'une pompe à chaleur figure (II-2.), l'énergie cédée au condenseur est utilisée par le fluide frigorigène pour la production de chaleur à l'intérieur du bâtiment (pour le chauffage ou la production d'eau chaude). Au niveau de l'évaporateur, l'énergie thermique est captée à l'extérieur (dans l'air, l'eau). [8]

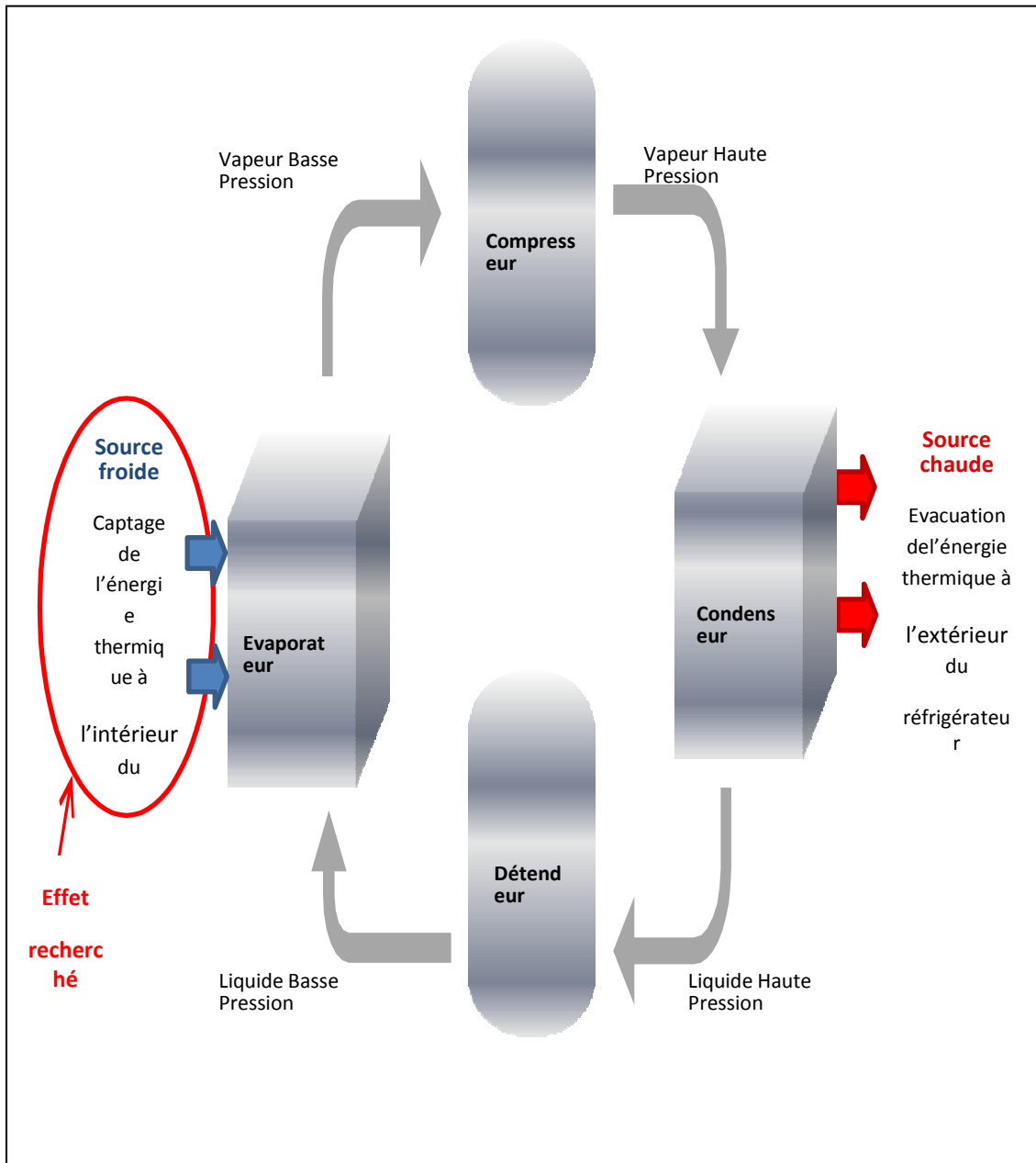


Figure (II-3) : Principe de fonctionnement d'un réfrigérateur.

II-4-2. Réfrigérateur :

Dans le cas du réfrigérateur Figure (II- 3.), l'énergie thermique récupérée par le fluide frigorigène au niveau de l'évaporateur est captée à l'intérieur du réfrigérateur afin de créer du froid. Au condenseur le fluide frigorigène cède de l'énergie à l'extérieur du réfrigérateur. [8]

II-5. Principes de la thermodynamique appliqués aux machines thermiques :

Enoncé du second principe de la thermodynamique

Ce fut notamment le cas de Rudolf Clausius qui, partant de l'observation que l'énergie thermique se transfère naturellement d'un corps chaud à un corps froid mais ne passe pas spontanément d'un corps froid à un corps chaud, énonça en 1850 ce deuxième principe :

Il est impossible pour un système cyclique d'effectuer un transfert thermique continuellement d'une source froide vers une source chaude sans apport de travail ou autre effet sur le milieu extérieur.'

Dans le cas d'une machine thermique réceptrice, le travail W est fourni au système, qui absorbe l'énergie thermique Q_f d'une source froide et qui cède une énergie thermique Q_c à une source chaude.

Premier principe de la thermodynamique appliqué aux machines thermiques : bilan énergétique

Premier principe dans le cas d'un processus cyclique : $\Delta U = W + Q = 0$

Donc, pour une machine thermique, le premier principe s'écrit : $\Delta U = W + Q_c + Q_f = 0$

II-6. Les fluides frigorigènes :

Les fluides frigorigènes ont pour rôle d'assurer les transferts thermiques entre l'évaporateur et le condenseur

Les familles de fluides frigorigènes :

Les fluides frigorigènes sont des substances ou des mélanges de substances, utilisés dans les circuits de systèmes frigorifiques tels que: des chambres froides, des réfrigérateurs, des vitrines réfrigérées...

Les fluides frigorigènes ont la particularité d'avoir sous la pression atmosphérique, une température d'évaporation très faible. Cette propriété thermodynamique permet de produire du froid et du chaud.

II-6-1. Critères de choix pour un fluide frigorigène :

Le fluide frigorigène, étant un medium qui sert à évacuer de la chaleur, possède des caractéristiques propres (physiques, thermodynamiques et chimiques).

Le choix rationnel du fluide d'une installation existante a été effectué en tenant compte du problème frigorifique particulier à résoudre et d'un certain nombre de critères énumérés ci-après : [9]

✓ **Critères thermodynamique :**

-Pression d'évaporation :-avoir un point d'ébullition sous la pression atmosphérique suffisamment bas compte tenu des conditions de fonctionnement désirées (de sorte que la température d'évaporation soit toujours à un niveau plus élevé que la température correspondant à la pression atmosphérique)

-température critique : avoir une température critique élevée (de sorte que la température de condensation dans les conditions d'utilisation soient bien inférieure à cette température critique)

-taux de compression : avoir un faible rapport de compression, c'est à dire faible rapport entre les pressions de refoulement et d'aspiration

-production frigorifique volumique spécifique : avoir un faible volume massique de la vapeur saturée rendant possible l'utilisation d'un compresseur et de tuyauteries de dimensions réduites.

-Efficacité des échanges thermique.

-température de refoulement.

✓ **Critère de sécurité :**

Toxicité :être non toxique et sans effet sur la santé du personnel

-inflammabilité :être non inflammable .

Caractère explosif : non explosif en mélange avec l'air,

✓ **Critère technique :**

Action sur les comportements de l'installation :-être non corrosif, pas d'action sur les métaux constituant le circuit, pas d'action sur les joints

-comportement avec l'huile : -ne pas voir d'action sur le lubrifiant (huile) employé conjointement

-comportement avec l'eau

-aptitude aux détections des fuites : fuites faciles à détecter et à localiser par méthode visuelle

-stabilité

✓ **Critère économique :**

-prix : être d'un coût peu élevé et d'un approvisionnement facile

-disponibilité

✓ **Critères écologiques :**

-action sur la couche d'ozone

-effet de serre

Possibilité de récupération et de recyclage.

Il faut bien comprendre qu'aucun des fluides utilisés ne possède l'ensemble de ces qualités.

II-6-2.Classification :

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 : [6]

✓ Les composés inorganiques

✓ Les composés organiques

II-6-2-1.Les composés inorganiques.

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

✓ **L'ammoniac (NH₃)** Le fluide le plus utilisé de cette famille et il est désigné par R717 R désigne Réfrigérant

Le 7 des centaines désigne la série 700

Le 17 représentant les deux derniers chiffres désigne la masse molaire du corps (14 pour l'azote « N » et 3 pour l'hydrogène « H »)

Autres exemples de composés inorganiques :

✓ **l'eau (H₂O) :** R718

✓ **le dioxyde de carbone (CO₂) :** R744

II-6-2-2.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-6-2-2-1. Les corps purs se regroupent en trois sous groupes suivant leur composition chimique : [6]

- ✓ les CFC (chlorofluorocarbone) – exemple le R12
- ✓ les HCFC (hydrochlorofluorocarbone) – exemple le R22
- ✓ les HFC (hydrofluorocarbone) – exemple le R134a

La caractéristique principale d'un corps pur est qu'il se condense et s'évapore à température et pression constante.

Les molécules des CFC sont complètement halogénées. Ceux des HFC ne contiennent aucun atome de chlore.

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

- ✓ **Codification du fluide pure** : Leur désignation est basée sur la règle suivante :

-R : Réfrigérant

-Chiffre des unités « u » : nombre d'atomes de fluor

-Chiffre des dizaines « d » : nombre d'atomes d'hydrogène + 1

-Chiffre des centaines « c » : nombre d'atomes de carbones – 1

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

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

Le tableau 2.4 est une illustration de la désignation des corps purs. [10]

Désignation	Chiffres des unités	Chiffres des dizaines	Chiffres des centaines	Nombre d'atomes de chlore	Formule chimique
R12	2 2 fluor	1 0 hydrogène	0 1 carbone	2 chlore	CCl_2F_2
R22	2 2 fluor	2 1 hydrogène	0 1 carbone	1 chlore	CHClF_2
R134a	2 2 fluor	3 2 hydrogène	1 2 carbone	0 chlore	CH_2FCF_3

Tableau (II-1) : Exemples de désignation des corps purs R12 – R22 – R134a.

A partir de la formule chimique des fluides frigorigènes ci-dessus, les dénominations de ces fluides sont les suivantes :

- ✓ le Dichlorodifluorométhane (CCl_2F_2) pour le R12
- ✓ le Monochlorodifluorométhane (CHClF_2) pour le R22
- ✓ le Tétrafluoroéthane (CH_2FCF_3) pour le R134a

Ces appellations ne sont pratiquement pas utilisées en froid.

II-6-2-2-2. Les mélanges :

Les mélanges de corps purs se regroupent en deux sous groupes que sont : [6]

- ✓ les mélanges azéotropiques qui se comportent comme des corps purs
- ✓ les mélanges zéotropiques qui ne sont pas des corps purs

-Les mélanges azéotropiques sont les fluides frigorigènes de la série 500.

Les deux derniers chiffres indiquent le numéro d'ordre d'apparition du fluide considéré.
Exemple : le R502 (mélange de 48.8% de R22 et de 51.2% de R115)

-Les mélanges zéotropiques sont les fluides frigorigènes de la série 400.

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

Exemple : le R404A (mélange de 52% de R143a, de 44% de R125 et de 4% de R134a)

Dans le cas de mélanges de corps purs identiques mais dans des proportions différentes (isotopes), on associe une lettre majuscule (A,B,C) en fin de numérotation dans l'ordre chronologique d'apparition.

Exemple : R407A, R407B, R407C

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

- mélanges zéotropiques se vaporisent et se condensent non pas à une température constante mais sur une plage de températures (glissement dans les zones de changement d'état). [6]

II-6-2-2-3. Les hydrocarbures

Les fluides frigorigènes du type hydrocarbure proviennent essentiellement du raffinage du pétrole mais également du dégazolinage (récupération des hydrocarbures liquides) du gaz naturel. Ce sont essentiellement [6].

- ✓ le R600 (butane),
- ✓ Le R600a (isobutane)
- ✓ Le R290 (propane) qui est le plus utilisé.

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

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

II-6-3.IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX :

Les impacts environnementaux liés aux fluides frigorigènes

Se reposent sur deux phénomènes : [10]

- ✓ La destruction de la couche d'ozone
- ✓ Le réchauffement de la planète

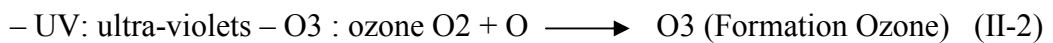
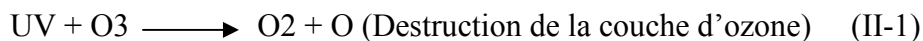
II-6-3-1.Destruction de la couche d'ozone :

L'ozone est une forme d'oxygène constituée de trois atomes au lieu de deux. C'est un gaz instable et il est particulièrement vulnérable aux attaques des composés naturels contenant de l'hydrogène, de l'azote et du chlore.

L'ozone situé dans la stratosphère (région située entre 11 et 48 km au dessus de la surface de la terre) est aussi indispensable à la vie que l'oxygène.

Il forme en effet un bouclier certes d'une extrême minceur mais d'une remarquable efficacité car il parvient à filtrer la quasi totalité de tous les rayons ultra-violet nuisibles du soleil (absorption de la plupart des rayons UV B).

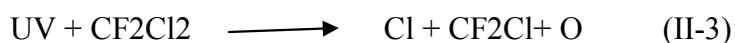
La formation et la destruction de la couche d'ozone est un processus cyclique et naturel suivant les réactions suivantes :



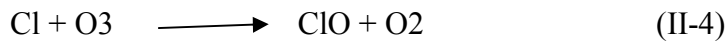
Cependant cet équilibre est rompu par l'effet néfaste de certains fluides frigorigènes qui rejetés dans l'atmosphère (molécules contenant du chlore) vont détruire les molécules d'ozone et par conséquent endommagera la couche d'ozone avec comme conséquence une augmentation des rayons UV B arrivant à la surface de la Terre.

En effet, les UV agissent sur les molécules de certains fluides (principalement les CFC et dans une moindre mesure les HCFC) pour libérer les atomes de chlore et ce sont ces atomes qui vont réagir avec l'ozone pour la détruire suivant une réaction en chaîne : [10]

Cas du CFC R12 (CF₂Cl₂)



(Libération atome de chlore du CFC R12)



(Réaction du chlore libéré avec l'Ozone : Destruction Ozone)



C'est pour caractériser la capacité de destruction de la couche d'ozone par les fluides frigorigènes qu'a été défini le Potentiel d'Action sur la couche d'Ozone (PAO) ou Ozone Depletion Potential (PAO) avec comme valeur de référence le PAO du CFC R11 qui est de 1, ce fluide étant considéré comme celui ayant l'effet le plus destructeur sur la couche d'ozone. Un PAO de 0 signifierait que le fluide frigorigène considéré n'a aucun effet sur la destruction de la couche d'ozone. [10]

-Le tableau ci-dessous donne le PAO de quelques fluides frigorigènes.

FF	R11	R12	R22	R134 a	R717	R507	R404A	R600
Famille	CFC	CFC	HCF C	HFC	Inorganique	Azéotropique	Zéotropique	Hydrocarbure
PAO	1	0.9	0.05	0	0	0	0	0

Tableau (II-2) : donne le PAO de quelques fluides frigorigènes.

Les conséquences de la destruction de la couche d'ozone (augmentation des rayons UV B à la surface de la Terre) sont les suivantes :

L'augmentation des cancers de la peau

L'augmentation des cas de cataractes et autres lésions oculaires

la diminution du système immunitaire

la baisse des rendements agricoles et la destruction des forêts

la détérioration de la vie maritime.

II-6-3-2. Réchauffement de la planète :

La température de la terre est maintenue par un équilibre entre l'effet réchauffant émanant du rayonnement solaire venant de l'espace et l'effet refroidissant des rayons infrarouges émis par la surface chaude de l'écorce terrestre et l'atmosphère qui remontent vers l'espace.

Le rayonnement solaire sous forme de lumière visible qui atteint la terre se divise en plusieurs parties :

- ✓ une partie est absorbée par l'atmosphère
- ✓ une partie est réfléchiée par les nuages et le sol (tout particulièrement le désert et la neige)

-le reste est absorbée par la surface qui est réchauffée et qui à son tour réchauffe l'atmosphère, la surface réchauffée et l'atmosphère de la terre émettent des rayons infrarouges (IR) de grandes longueurs d'onde.

-Une partie des rayons IR de grande longueur d'onde renvoyées est absorbée dans l'atmosphère par certains gaz ralentissant ainsi les dégagements des rayonnements refroidissant et réchauffant ainsi la surface de la terre, il s'agit de l'effet de serre qui un phénomène naturel sans lequel la vie sur terre serait invivable avec une température moyenne de -18°C contre $+15^{\circ}\text{C}$ actuellement à la surface du globe terrestre.

- gaz présents dans l'atmosphère et qui absorbent une partie de ce rayonnement IR sont appelés gaz à effet de serre. Il s'agit principalement du CO_2 , de la vapeur d'eau, du méthane (CH_4) et de l'oxyde nitreux (N_2O) et des fluides frigorigènes rejetés dans l'atmosphère (principalement les CFC). [10]

-Cette concentration des gaz à effet de serre va augmenter le pouvoir d'absorption des rayonnements IR et par suite augmenter la température moyenne autour de la surface de la planète : c'est le réchauffement de la planète.

Pour caractériser l'effet des fluides frigorigènes sur le réchauffement de la planète, il a été défini le Potentiel d'Action sur l'Effet de Serre (PAES) ou GWP (Global Warning Potential) qui est un index qui compare l'effet de réchauffement des différents gaz au fil du temps par rapport à des émissions équivalentes de CO_2 (exprimé en masse).

Etant donné la durée de vie du CO_2 qui est de l'ordre de 500 ans, il est défini plusieurs GWP en fonction de la durée d'intégration en années (10, 20, 50, 100, 200, 500) mais en pratique il est adopté le GWP pour une durée d'intégration de 100 ans : GWP100

Par conséquent le GWP100 du CO_2 (dioxyde de carbone – R744) est de 1. Le tableau suivant donne le GWP100 de quelques fluides frigorigènes. [10]

Valeurs de GWP₁₀₀ de quelques fluides frigorigènes.

FF	R11	R12	R22	R134 a	R717	R507	R404A	R600
Famille	CFC	CFC	HCFC	HFC	inorganique	Azéotropique	zéotropique	hydrocarbure
GWP₁₀₀	3500	7300	1500	1200	<1	3330	3260	3

Le GWP désigne la contribution directe des fluides frigorigènes au réchauffement de la planète.

Tableau (II-3) : Valeurs de GWP100 de quelques fluides frigorigènes..

Chapitre III

MACHINE FRIGORIFIQUE A
COMPRESSION MECANIQUE

III-1. La machine frigorifique à compression mécanique:

Une machine frigorifique est un appareil qui permet de refroidir un milieu à une température inférieure à celle de l'ambiance. L'écoulement naturel de la chaleur s'effectuant toujours d'un corps chaud vers un corps froid figure (III-1) [9]



Figure (III-1) : écoulement naturel de chaleur

Une dépense d'énergie sera bien entendu inévitable pour réaliser ce transfert inverse figure (III-2)

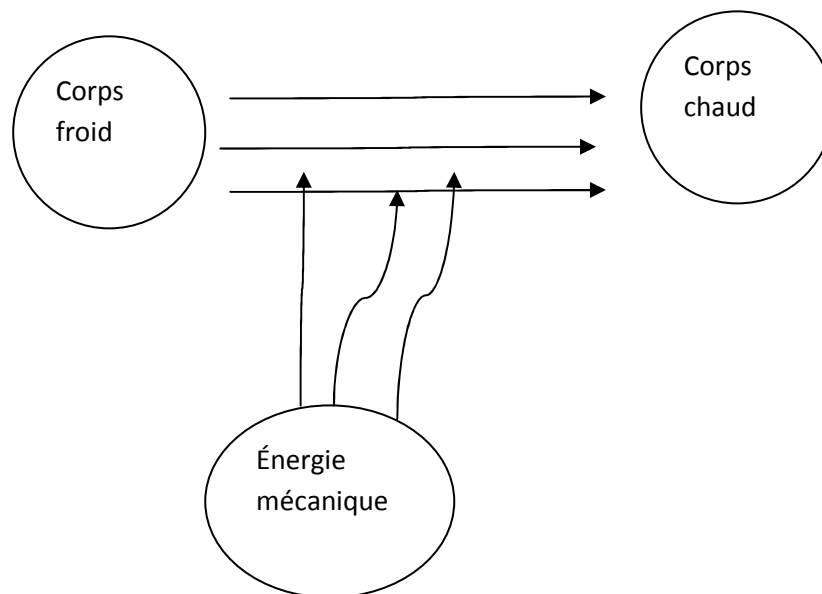


Figure (III-2) : écoulement de chaleur dans une machine frigorifique

III-2. Le rôle d'une machine frigorifique :

- ✓ Le rôle d'une machine frigorifique est de transférer une quantité de chaleur d'un niveau bas de température (source froide) à un niveau supérieur de température (source chaude).

L'appareil prélève de la chaleur (donc produit du froid) à la source froide et la transmet (donc produit de la chaleur) à la source chaude.

Si l'effet utile recherché est la production de chaleur. L'appareil s'appellera une pompe à chaleur.

Une pompe à chaleur est en fait un réfrigérateur qui est utilisé à l'envers.

- ✓ Dans un réfrigérateur : ou (l'évaporateur à eau) l'effet utile recherché est la production de froid. C'est-à-dire le retrait de la chaleur aux l'eau qui s'y trouvent.

Ce retrait de chaleur s'effectue à des températures de -1 à $+5^{\circ}\text{C}$. la chaleur ainsi puisée est rejetée à l'extérieur du réfrigérateur (l'évaporateur à eau) à une température de l'ordre de 50°C (effet de chauffage).

C'est le circuit frigorifique qui permet ce transfert de chaleur donc le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur est le même que celui d'un réfrigérateur. [9]

III-3.Principe de fonctionnement d'une machine :

-Chaque machine frigorifique à compression mécanique se compose essentiellement de quatre éléments principaux qui sont : [10]

- un compresseur
- un condenseur
- un organe de détente
- un évaporateur

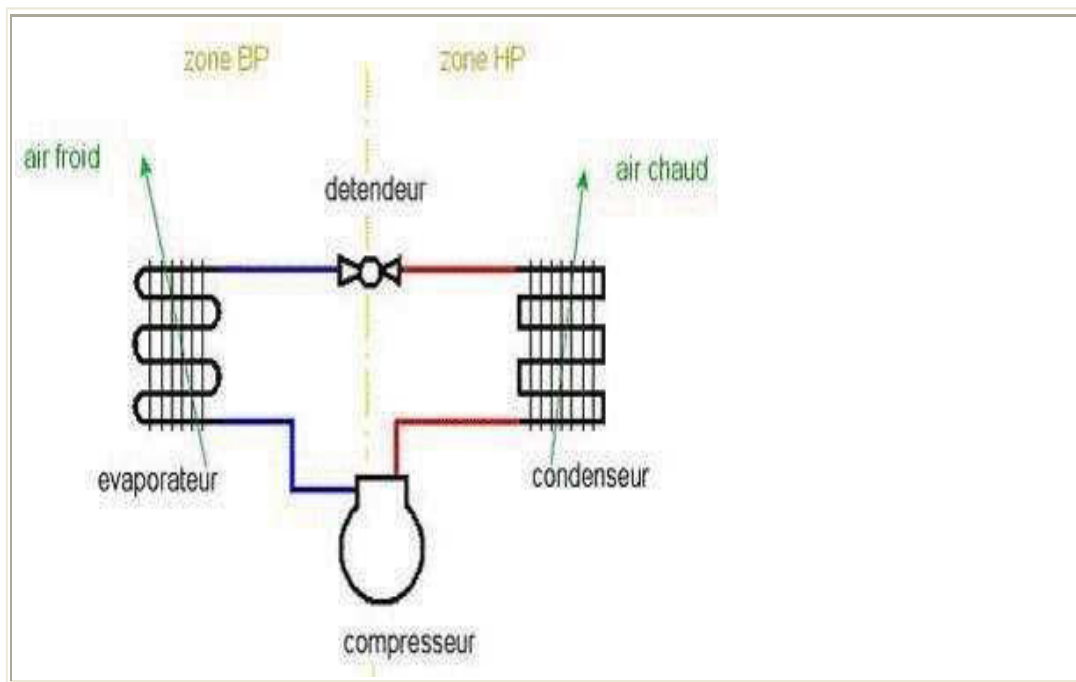


Figure (III-3) Schéma de base d'une machine frigorifique.

-Ces éléments son reliev entre eux avec un réseau de la tuyauterie type en cuivre, dans la quel circule de fluide frigorigène qui assuré le transfert de chaleur d'une source froid (l'évaporateur) vert la source chaude (condenseur) avec changement d'état physique.

C'est-à-dire Le fluide frigorigène se vaporise au niveau de l'évaporateur à la température T_0 et à la pression P_0 en prélevant la quantité de chaleur Q_0 .

La vapeur est comprimée et refoulée la pression P_k .

Dans un deuxième échangeur (condenseur) la vapeur est condensée à la pression P_k et la température T_k constantes, en rejetant la chaleur Q_k .

Le liquide est d'étendu de la pression P_k à la pression P_0 .

III-4. Les éléments constitutionnels d'une machine :

III-4-1. Le compresseur :

Aspire le fluide frigorigène gazeux (à bas niveau de température et de pression) issu de l'évaporateur, le comprime à un niveau plus haut de température et de pression puis le refoule vers le condenseur [10]

III-4-1-1. Les familles de compresseurs frigorifiques :

Il existe trois grandes familles de compresseurs frigorifiques :

- **Les compresseurs hermétiques :**

Les compresseurs hermétiques sont des compresseurs dont la partie moteur et la partie compression sont confinées dans une cloche étanche, non démontable. Si l'une des parties vient à céder, le compresseur est hors service et non réparable. Sa partie électrique est refroidie par les vapeurs Basse Pression (BP) du réfrigérant lors du fonctionnement du compresseur.



Figure (III-4) Vues de compresseur hermétique

- **Les compresseurs semi hermétiques :**

Les compresseurs semi hermétiques sont appelés ainsi du fait que la partie moteur est dissociée de la partie compresseur. Ils sont donc réparables en démontant les deux parties assemblées l'une contre

l'autre. Comme pour les compresseurs hermétiques, la partie moteur électrique est refroidie par les vapeurs Basse Pression (BP) du réfrigérant lors du fonctionnement.



Figure (III-5) Vues de compresseur semis hermétique

- **Les compresseurs ouverts :**

Les compresseurs ouverts sont ainsi nommés parce que la partie moteur électrique est séparée de la partie compresseur du réfrigérant. On trouve deux types de liaison entre les deux parties :

- Entraînement par courroie.
- Entraînement par accouplement.



Figure (III-6) Compresseur ouvert

3. Les différents types de compresseurs

Il existe différents types de compresseurs sur le marché :

- **Les compresseurs à piston** : c'est un modèle courant qui équipe principalement les réfrigérateurs et les congélateurs ménagers. Peu encombrant et compact, il fonctionne sur le même principe que les moteurs à explosion des automobiles.

- **Les compresseurs à spirale** : on les appelle aussi compresseurs « scroll ». On les reconnaît à leur forme allongée. Ils emploient deux spirales intercalées comme des palettes pour pomper et comprimer les fluides.
- **Les compresseurs à vis** : on les appelle aussi, hélico compresseur. Inventé en 1878 par l'ingénieur Grigar, ils ont connus de puis la fin des années 1970 diverses améliorations qui a permis de développer une nouvelle génération de compresseurs à vis de petite et moyenne puissance, dédiés au domaine du froid. Ils sont constitués de deux vis synchronisées contre rotatives qui permettent de comprimer le fluide. On joue sur une diminution du volume pour compresser le fluide. En effet, l'empreinte des vis est plus creusée à l'entrée qu'à la sortie. Suivant les modèles et la distance entre les deux vis, un film d'huile est utilisé pour assurer l'étanchéité.
- **Les compresseurs centrifuges** : appelés aussi turbocompresseur, sont des machines de type radial avec un rotor qui tourne à vitesse uniforme, ainsi le fluide s'écoule de façon permanente. Suivant le fluide frigorigène utilisé, le compresseur centrifuge peut être mono roue ou multi roues. Dans le cas du multi roues, le diffuseur d'une roue est prolongé par un canal de retour qui amène le fluide comprimé à l'entrée de la roue suivante.

III-4-2. Le condenseur : [10]

C'est un échangeur de chaleur qui va permettre l'évacuation de la chaleur contenue dans le fluide frigorigène gazeux issu du compresseur en le liquéfiant. Cette condensation (liquéfaction) est obtenue par le refroidissement du fluide frigorigène gazeux à pression constante par un médium qui peut être de l'eau ou de l'air.

Cette évacuation de chaleur s'effectue en trois étapes :

- la désurchauffe des vapeurs de fluide frigorigène (évacuation par chaleur sensible – tronçon AB)
- la condensation des vapeurs (évacuation par chaleur latente – étape principale – tronçon BC)
- le sous refroidissement du fluide frigorigène liquide (évacuation par chaleur sensible – tronçon CD)

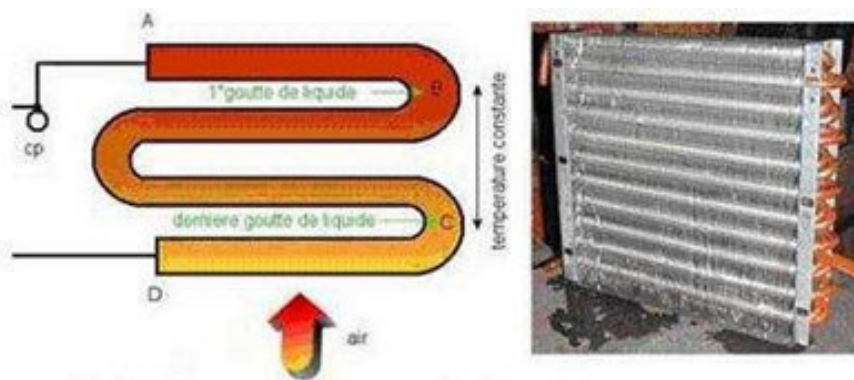


Figure (III-7) Condenseur à air

III-4-3. Le détendeur :

Permet de réduire la pression du fluide frigorigène liquide (création de pertes de charge) issu du condenseur avant son introduction dans l'évaporateur dans le but de permettre sa vaporisation à basse température dans l'évaporateur.

Cette détente a lieu dans un détendeur ou dans un orifice calibré (ou dans un capillaire). la détente se produit sans aucun échange avec l'extérieur ni de chaleur ni d'énergie mécanique.

-Le détendeur du type capillaire (tubes capillaires) figure (III-6), le débit du fluide frigorigène arrivant dans l'évaporateur est fonction du diamètre intérieur (de 0.6 à 1.5 mm) et de la longueur (de

1.80 à 3.50 m) du tube ainsi que de la différence de pression entre le condenseur et l'évaporateur. [10]

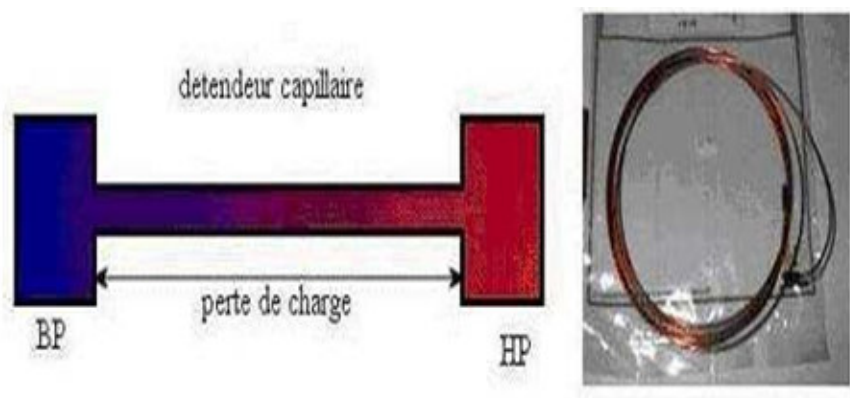


Figure (III-8) : Détendeur type capillaire.

- Détendeur thermostatique

Le détendeur permet d'alimenter correctement l'évaporateur en fluide frigorigène, optimise son remplissage en tenant compte de la charge thermique. En abaissant brusquement la pression à l'entrée de l'évaporateur, il réduit la température du fluide et le vaporise partiellement.

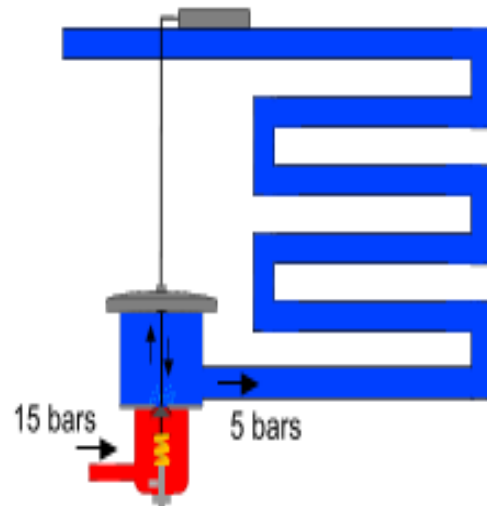


Figure (III-9) : Détendeur type thermostatique à égalisation interne

- Le détendeur thermostatique à égalisation interne

Force d'ouverture : pression régnant dans le train thermostatique qui s'exerce de haut en bas.

Force de fermeture : pression due à l'évaporation + la force de poussée du ressort réglée par une vis, qui s'exerce de bas en haut.

Le liquide arrive au détendeur en liquide sous-refroidi puis se détend au passage dans l'orifice du détendeur (tailles des buses dans l'ordre croissant : 00, 01, 02, 03, 04, 05, 06), la pression chute et le liquide se vaporise.

Le bulbe du détendeur doit être positionné en fin d'évaporateur pour assurer une alimentation en fluide et de maintenir une surchauffe correcte rappelons que la surchauffe représente la différence entre la température mesurée au bulbe du détendeur et la température d'évaporation lue au manomètre BP cette différence est comprise entre 5 et 8 degrés.

III-4-4.L'évaporateur : [10]

C'est un échangeur de chaleur dans lequel le fluide frigorigène liquide à bas niveau de température et de pression va absorber la chaleur du milieu à refroidir (air ou eau) à pression constante devenant ainsi gazeux.

Cette absorption de chaleur s'effectue en deux étapes :

L'évaporation du fluide frigorigène liquide (aspiration de chaleur latente – étape principale

– tronçon AB)

la surchauffe des vapeurs issues de l'évaporation du fluide frigorigène liquide (aspiration de chaleur sensible – tronçon BC)

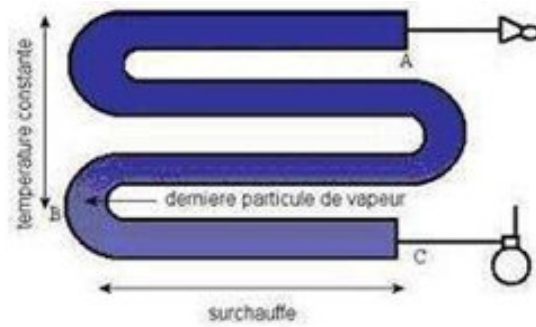


Figure (III-10) : Evaporateur.

Ce fluide frigorigène gazeux est à nouveau absorbé par le compresseur et le cycle reprend.

III-5. Le cycle frigorifique : [10]

Suivant le schéma de la machine frigorifique de la figure (III-11), le fluide frigorigène (FF) circulant dans le circuit frigorifique suit les évolutions suivantes :

entre 1 et 2 : compression des vapeurs de FF qui passent d'un niveau de basse pression (BP) à un niveau de haute pression (HP)

entre 2 et 3 : désurchauffe des vapeurs de FF HP

entre 3 et 4 : condensation des vapeurs de FF HP qui deviennent du FF liquide HP entre 4 et 5 : sous refroidissement du FF liquide HP

entre 5 et 6 : détente du FF liquide HP qui devient un mélange de liquide BP et d'une faible quantité de vapeurs BP

entre 6 et 7 : évaporation du FF liquide BP qui devient des vapeurs de FF BP entre 7 et 1 : surchauffe des vapeurs de FF BP

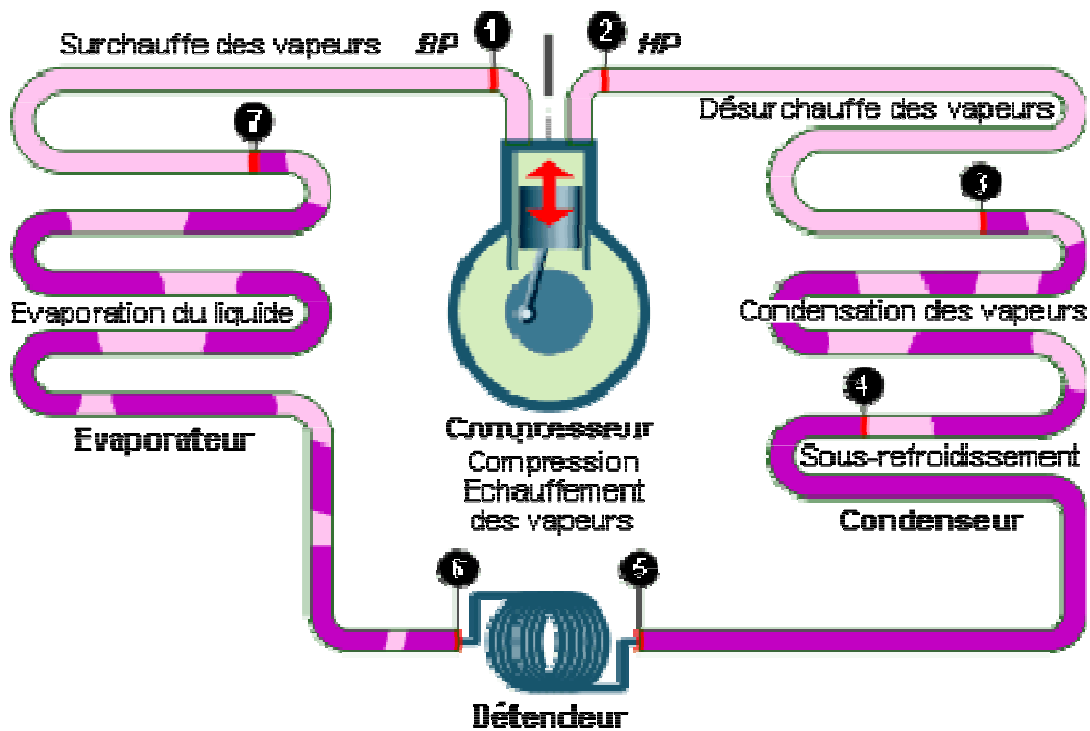


Figure (III-11) Schéma d'une machine frigorifique de base

-Il existe un cycle frigorifique de référence

Le cycle frigorifique d'une machine frigorifique est représenté :

- ✓ Soit dans le diagramme thermodynamique enthalpie (h) - pression (Log P) appelé diagramme enthalpique ou diagramme de Mollier des frigoristes.
- ✓ Soit dans le diagramme de Carnot.

III-5-1. diagramme enthalpique ou diagramme de Mollier :

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

- ✓ diagramme Enthalpique ou diagramme de Mollier des frigoristes.

Suivant le schéma de la machine frigorifique de la figure (III-12), le fluide frigorigène circulant dans le circuit Frigorifique suit les évolutions suivantes :

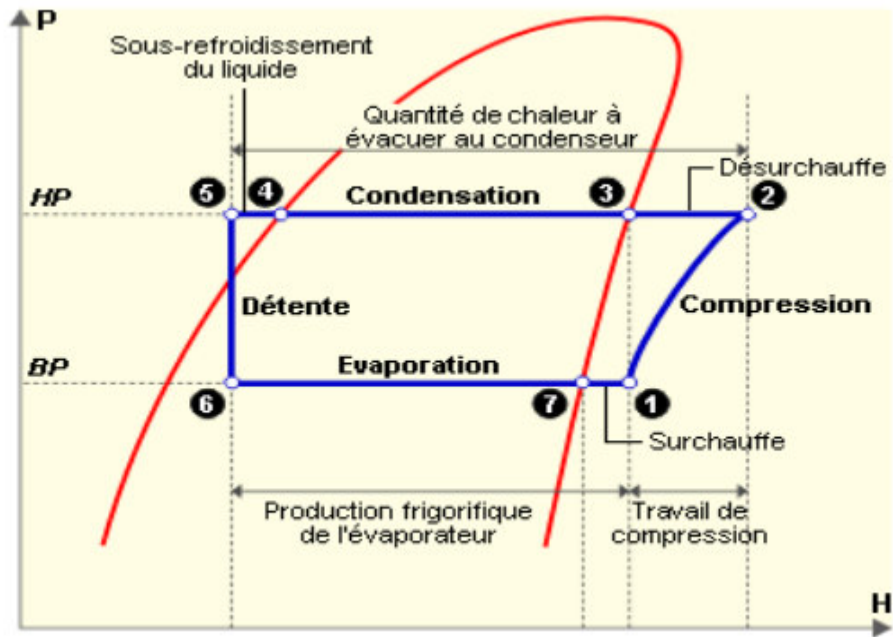


Figure (III-12) : Schéma d'une machine frigorifique de base avec cycle de référence

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

En pratique, ce cycle est tracé sur les bases suivantes : [10]

Compression isentropique

Détente isenthalpe

Surchauffe de 5°C (pour étude de conception) ou SH mesurée

Sous-refroidissement de 5°C (pour étude de conception) ou SR mesuré

III-5-2.diagramme de Carnot :

Cycle frigorifique de Carnot : [2].

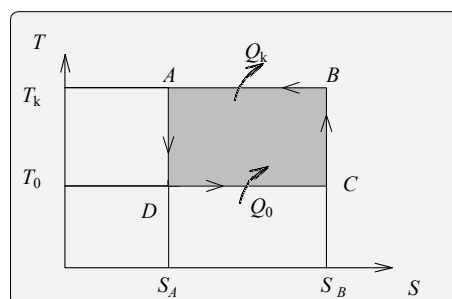


Figure (III-13) : cycle frigorifique de Carnot

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

$$1er\ principe : W + Q_0 + Q_k = 0 \quad (III-1)$$

$$2e\ principe : Q_0 = T_0 (S_c - S_D) \quad (III-2)$$

$$Q_k = T_k (S_A - S_B)$$

Or $S_A = S_D$ et $S_B = S_c$ soit :

$$W = - (Q_0 + Q_k)$$

$$W = - [T_0 (S_c - S_D) + T_k (S_A - S_B)]$$

$$= - (T_0 (S_B - S_A) + T_k (S_A - S_B))$$

$$= - (S_B - S_A) (T_0 - T_k)$$

or : $S_A < S_B$ et $T_0 < T_k$ et donc : $W > 0$

Le système reçoit le travail W , prend la chaleur Q_0 à la source froide et cède la quantité de chaleur Q_k à la source chaude.

III-5-3.coefficient de performance :

III-5-3-1.Coefficient de performance (COP) d'une machine thermique réceptrice :

La performance d'une machine thermique s'exprime par le coefficient de performance (COP).

Le COP est défini comme étant le rapport entre la quantité d'énergie thermique utile transférée par la machine et l'énergie consommée sous forme de travail pour réaliser ce transfert (énergie utilisée pour faire fonctionner le compresseur). [8]

$$COP = \frac{\text{energie thermique utile transfere}}{\text{energie consomme pour realisanstransfert}}$$

Plus le cop est élevé plus la machine thermique est performant.

$$\text{Pour un pompe à chaleur} \quad \text{le cop} = \frac{Q_c}{w_{réel}} \quad (III-3)$$

$$\text{Pour un machiner frigorifique} \quad \text{le cop} = \frac{Q_f}{w_{réel}} \quad (III-4)$$

On entend par $W_{réel}$, l'énergie électrique consommée pour faire fonctionner la machine thermique.

III-5-3-2.Efficacité énergétique théorique ou efficacité de Carnot :

L'efficacité énergétique η d'une machine thermique réceptrice est définie à partir de l'efficacité du cycle de Carnot inverse, qui est un cycle théorique présentant la meilleure efficacité. [8]

$$\eta = \frac{\text{Energie thermique utile transférée}}{\text{Energie théorique nécessaire à ce transfert}}$$

D'après le premier principe : $W + Q_c + Q_f = 0$ D'où $W = -Q_f - Q_c = |Q_c| - Q_f$

D'après le théorème de Carno (cycle Carnot et model du gaz parfait) $\frac{Q_c}{w_{réel}} = \frac{T_c}{T_f}$ (température en K°).

$$\text{Pour un pompe à chaleur : } \eta = \frac{Q_c}{w_{theor}} = \frac{Q_c}{Q_c - Q_f} = \frac{T_c}{T_c - T_f} \quad (\text{III-5})$$

$$\text{Pour une machine frigorifique : } \eta = \frac{Q_f}{w_{theor}} = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} = \frac{T_f}{T_c - T_f} \quad (\text{III-6})$$

-Le travail théorique $W_{théorique}$ représente l'énergie nécessaire pour la compression du fluide frigorigène, et contrairement au travail réel, il ne prend pas en compte les pertes énergétiques diverses au niveau du compresseur.

Chapitre IV :
LA CONCEPTION

IV-1. La machine frigorifique à compression mécanique :**IV-1-1. Description :**

Figure (IV-1) : Machine frigorifique à compression mécanique

Ce banc permet l'étude complète d'une installation frigorifique et pompe à chaleur de à un niveau de compression.

Ce banc d'essai a été conçu dans le but d'offrir aux étudiants un appareillage simple pour acquérir les connaissances scientifiques et pratiques au fonctionnement d'un cycle frigorifique à compression.

Le banc permet d'effectuer les essais expérimentaux suivants :

- ✓ analyse des phases traversées par le réfrigérant, grâce à des manomètres et des thermomètres
- ✓ mesure des valeurs des pressions de fonctionnement en fonction de la température de l'eau de condensation ;
- ✓ diagnostic sur le fonctionnement de l'installation, effectué à l'aide des manomètres, des Thermomètres, et du diagramme pression- enthalpie ;
- ✓ construction du cycle thermodynamique de fonctionnement sur le diagramme pression- enthalpie ;
- ✓ calcul du coefficient de performance cop ;

IV-1-2.Caractéristiques générales :

- **Évaporateur à eau, condenseur à eau :**

Afin de permettre les échanges, l'installation comporte un évaporateur et un condenseur à eau.

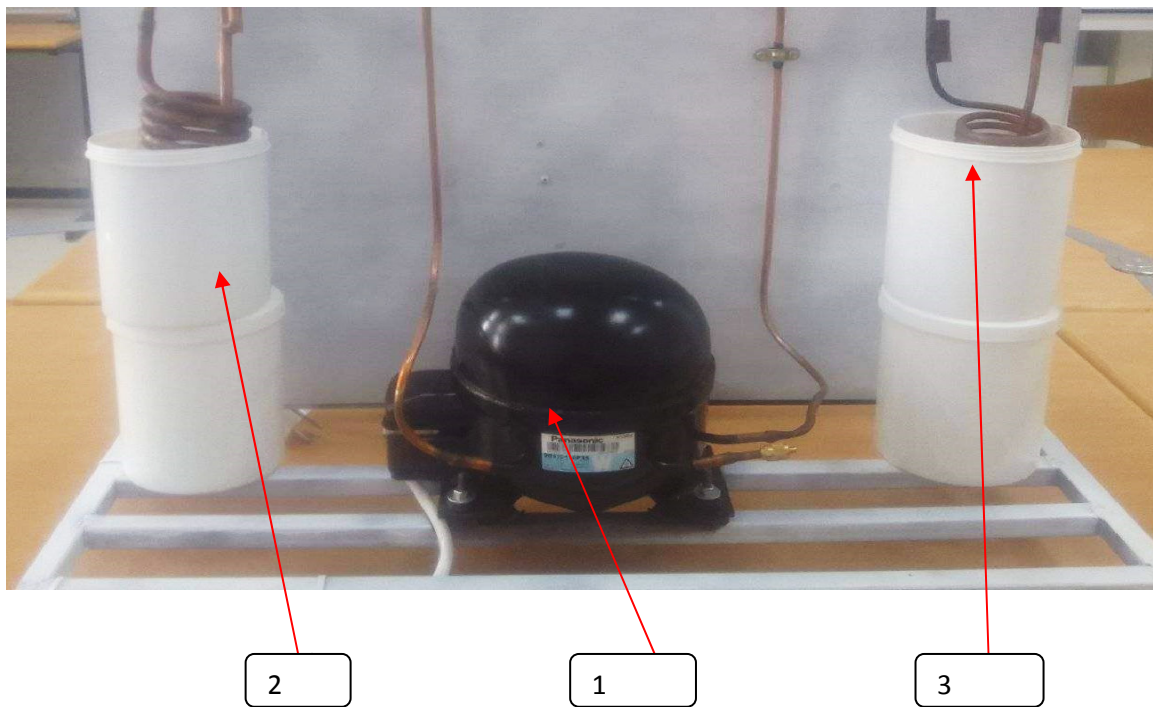


Figure (IV-2) : les composants principale de l'installation frigorifique

1-compresseur hermétique

2-évaporateur à eau

3-condenseur à eau

-Fluide frigorigène : R134a

-Alimentation électrique : 220volt- 50Hz

-Puissance absorbée : 140 Watt

- **Eléments fluidiques :**

Tous les accessoires fluidiques de l'installation ont été implantés sur une plaque en tôle galvanisé à une épaisseur 2mm, on y retrouve tous les éléments permettant un fonctionnement optimum du banc de démonstration du cycle frigorifique.

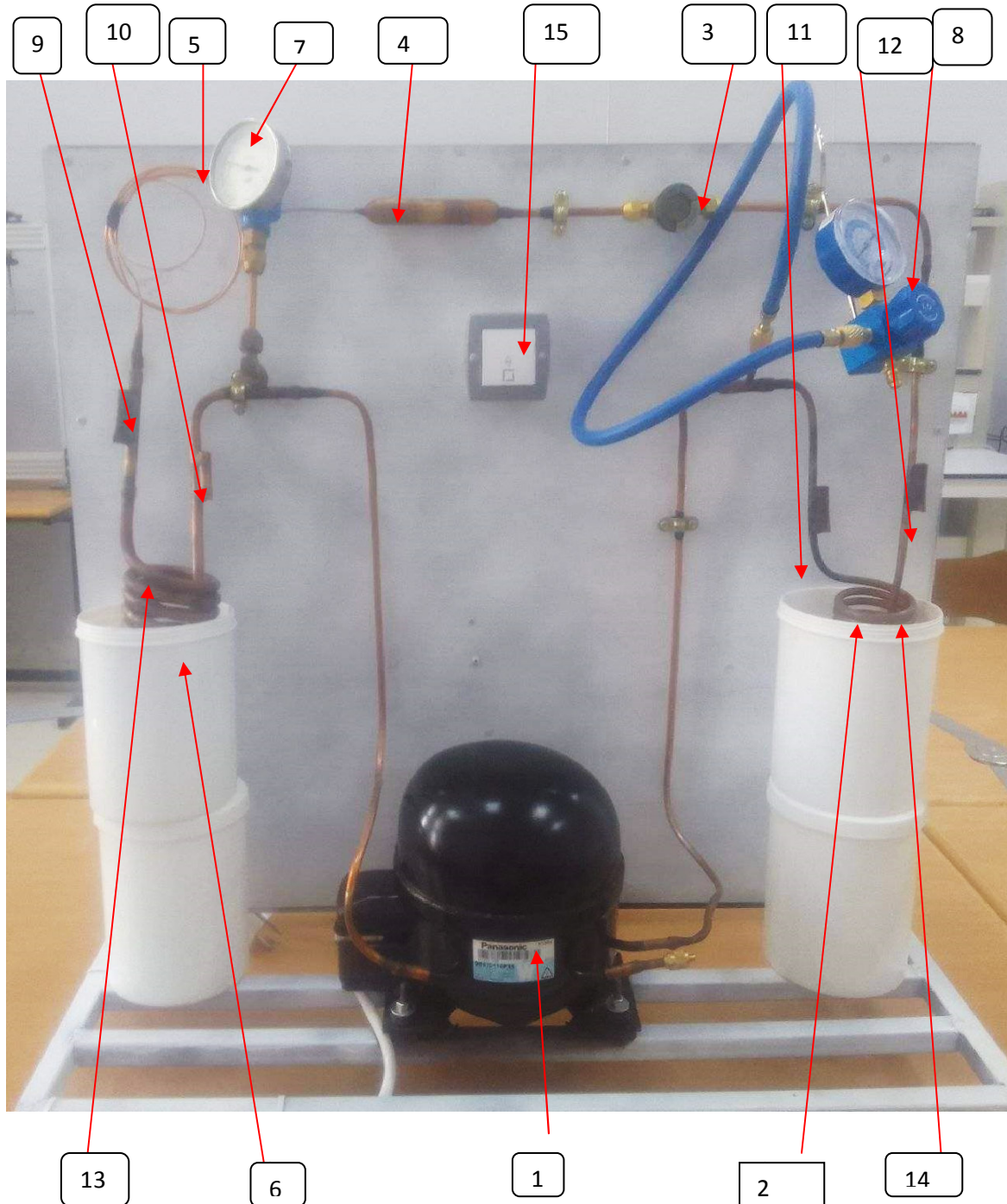


Figure (IV-3) : les composants fluidique de l'installation frigorifique

La légende :

- 1- Compresseur hermétique.
- 2- Condenseur à eau (serpentin).
- 3- Voyant liquide.
- 4- Filtre déshydrateur.
- 5- Détendeur type capillaire.
- 6- Evaporateur à eau (serpentin).
- 7- Manomètre coté (base pression).
- 8- Manomètre coté (haut pression).
- 9- Point de mesure la température θ_{eff} de l'évaporateur.
- 10- Point de mesure la température θ_{sff} de l'évaporateur.
- 11- Point de mesure la température θ_{ec} de condenseur.
- 12- Point de mesure la température θ_{sc} de condenseur.
- 13- Point de mesure la température θ_{eau} de l'évaporateur
- 14- Point de mesure la température θ_{eau} de condenseur.
- 15- Source d'alimentation électrique.

IV-2.Choix des composants principaux fluidiques de l'installation :

- **Compresseur hermétique :**



Figure (IV-4) : Compresseur hermétique

-Alimentation électrique : 220volt- 50Hz

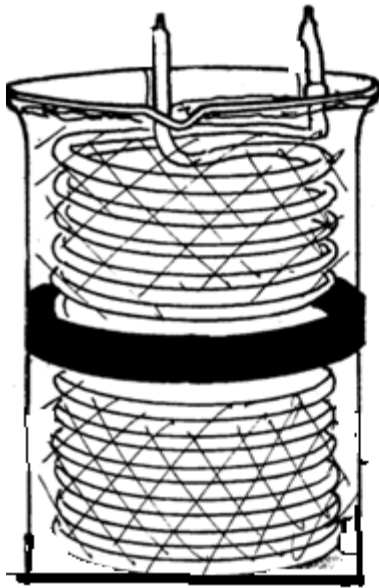
-Puissance absorbée : 140 Watt

- **Evaporateur et condenseur à eau :**

L'échange thermique a lieu au niveau de l'évaporateur et du condenseur.

Les deux échangeurs sont constitués par un tuyau de cuivre enroulé en serpentin plongé dans un bac d'eau.

Evaporateur R134a /eau



Condenseur R134a/eau

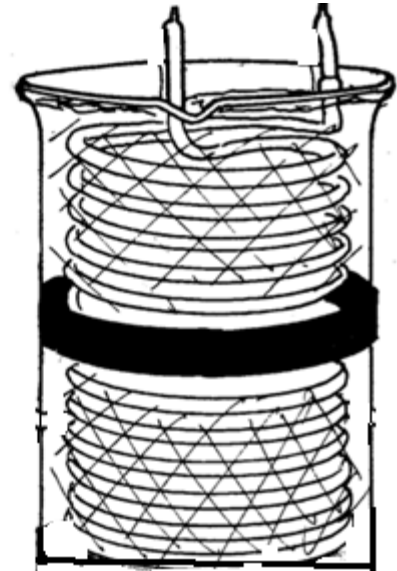


Figure (IV-5) : évaporateur à eau et condenseur à eau

- **Condenseur à eau :**

On peut Calculer la surface d'échange de chaleur à partir des données suivantes :

1pouce=2.54cm

- le diamètre des tuyaux $\varnothing = 1/4' = 6.35 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

-circonférence du tuyau $c = 3.14 \cdot \varnothing = 3.14 \cdot 6.35 \cdot 10^{-3} = 0.0199 \text{ m}$

-diamètre d'une spire $D = 0.06 \text{ m}$

- longueur d'une spire $L' = 0.22 \text{ m}$

-nombre d'une spire $n = 9$

-Longueur d'un tuyau $L = L' \cdot n = 1.98 \text{ m} + 0.13 \text{ m} = 2.11 \text{ m}$

-la surface d'échange de chaleur du condenseur est $s = c \cdot L = 0.0419 \text{ m}^2$

- **L'évaporateur à eau :**

On peut Calculer la surface d'échange de chaleur a partir des données suivantes :

- le diamètre des tuyaux $\varnothing = 3/8 = 9.525 \cdot 10^{-3}$ m

-circonférence du tuyau $c = 3.14 \cdot \varnothing = 0.0299$ m

-diamètre d'une spire $D = 0.07$ m

- longueur d'une spire $L' = 0.25$ m

-nombre d'une spire $n = 8$

-Longueur d'un tuyau $L = L' \cdot n = 2m + 0.13 = 2.13m$

-la surface d'échange de chaleur du condenseur est $s = c \cdot L = 0.0636m^2$

- **Schémas fluidiques**

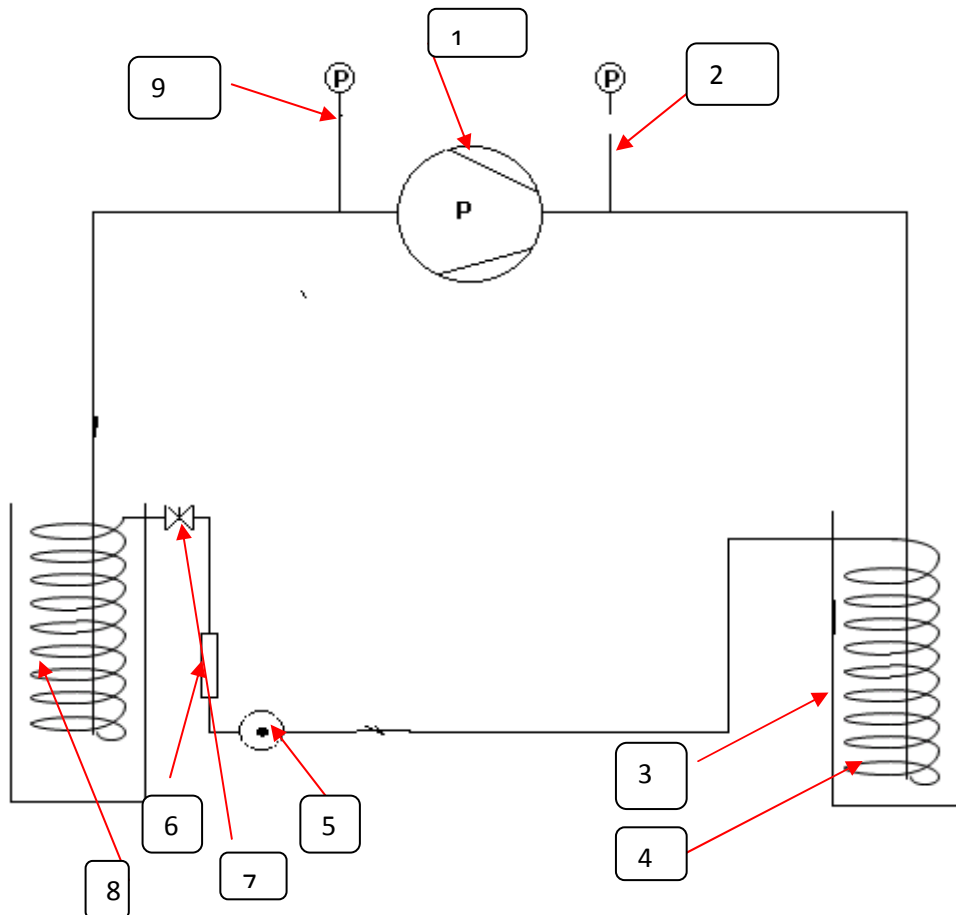


Fig. (IV-6) : schéma fluidique d'une machine frigorifique

La légende :

- 1- Compresseur hermétique.
- 2-Manomètre haute pression
- 3- bac d'eau.
- 4-condenseur à eau.
- 5- Voyant liquide indicateur d'humidité.
- 6-Déshydrateur filtre.
- 7- Détendeur type capillaire
- 8- Evaporateur à eau.
- 9- Manomètre basse pression

- **Le rôle principal pour chaque composant de l'installation :**

-Manomètre basse pression : son rôle est la Lecture de pression base pression.

-Détendeur capillaire : assurer la détente du ff de la haute pression à la basse pression

-Evaporateur à eau : assurer l'échange thermique entre l'eau à refroidir et le fluide frigorigène froid

-Voyant liquide : Permet de voir si le détendeur sera alimenté en mélange liquide vapeur (signe de problème)

-Manomètre haute pression : son rôle est la Lecture de pression

-Compresseur hermétique : son rôle est Assurer la circulation du fluide frigorigène, comprimer le ff afin de le rendre condensable

-Condenseur à eau : assurer l'échange thermique entre fluide frigorigène à refroidir et l'eau assurant la condensation

-Déshydrateur (filtre) : piéger l'humidité et les particules solides en suspension dans le ff

IV-3. Choix des composants auxiliaires fluidiques :

- **Indicateur de passage :**



Figure (IV-7) : Voyant liquide

1. Le voyant

Le voyant simple 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, ...).

Le voyant indicateur d'humidité est un voyant simple avec un 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.

Pour notre machine on a choisis un voyant indicateur d'humidité avec un diamètre $\varnothing = 1/4'$.

- **Filtre de déshydratation** :[3]

Capture toute trace d'humidité pouvant se trouver dans le circuit, pour empêcher les bouchons de glace au capillaire, ainsi que toute formation d'acide pouvant entraîner la détérioration du compresseur.

Le déshydrateur est aussi muni d'un filtre qui retient toute les particules solides susceptibles de boucher le capillaire.

Notre choix :on a choisis un filtre 15/20mm

- **Détendeur capillaire:**

Le capillaire est un tube en cuivre dont le diamètre est très faible (de l'ordre 0.6mm à 1.8mm) et la longueur varie de 1.7m et 7m environ. Il permet d'assurer la détente du fluide frigorigène et l'alimentation de l'évaporateur en fluide frigorigène détendu, il relie le condenseur avec l'évaporateur. La détente du fluide frigorigène est obtenue par une chute de pression lors de son passage dans le tube.

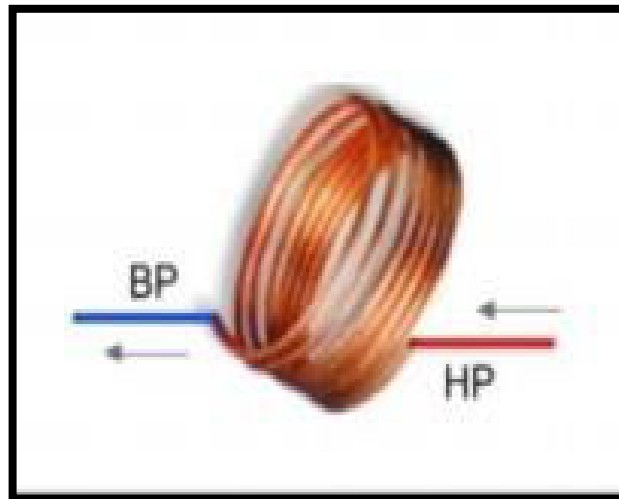


Figure (IV-8) : détendeur capillaire

Notre choix on à choisit un détendeur type capillaire le diamètre $\varnothing = 0.6\text{mm}$ et une longueur de 1.5m

IV-4. Principe de fonctionnement d'une machine frigorifique à compression mécanique:

D'un point de vue thermodynamique, le fonctionnement d'une pompe à chaleur (P.A.C) est identique à celui d'une machine frigorifique. Ces deux machines ont une dénomination différente de part l'utilité recherchée. La P.A.C. réalise un transfert thermique de la source froide vers la source chaude moyennant une dépense énergétique via le compresseur. C'est donc également le cas d'un appareil frigorifique).

Ce transfert thermique est assuré par l'intermédiaire d'un fluide frigorigène qui subit une transformation cyclique.

- Schéma de fonctionnement :

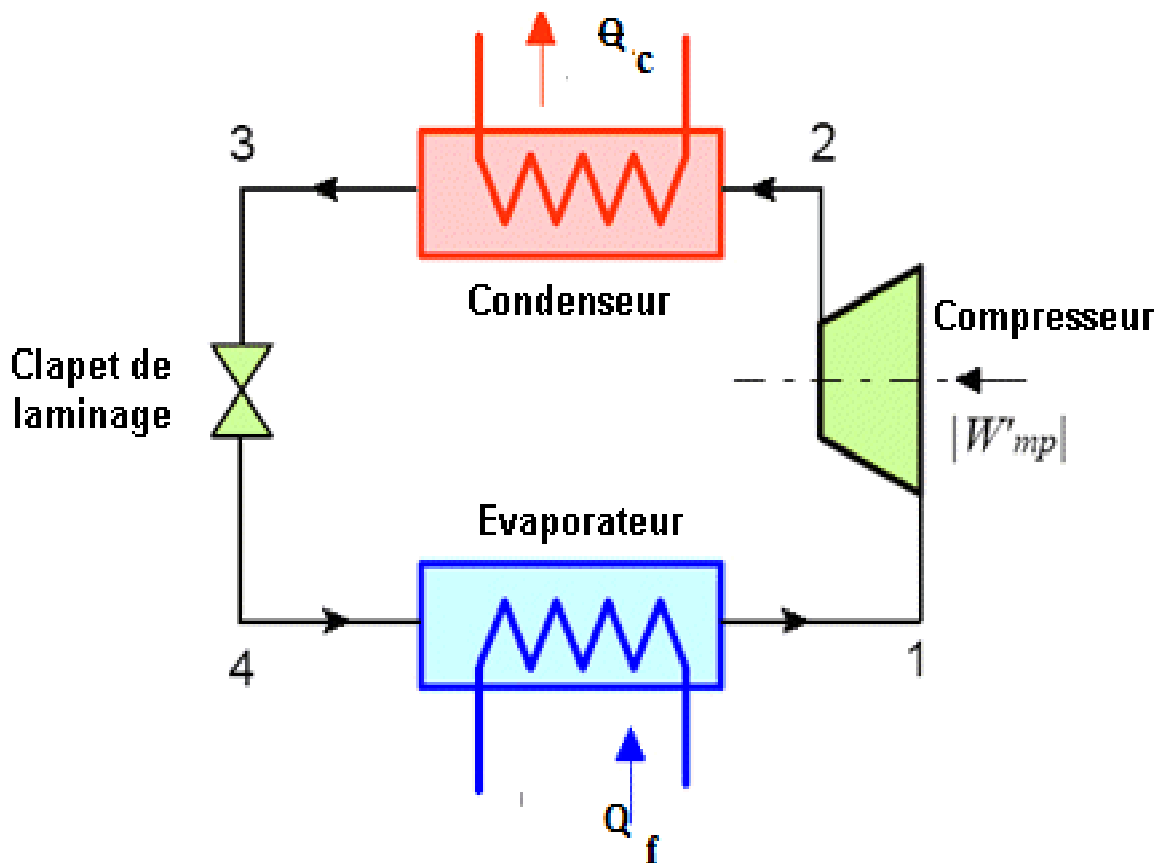


Fig (IV-9) schéma de principe d'un circuit frigorifique

- Description du cycle :

-initialement sous forme gazeuse, le fluide es comprimé dans le compresseur, il reçoit alors de l'extérieur un travail W (gaz base pression) \longrightarrow (gaz haut pression).

-il travers alors le condenseur à eau et passe progressivement de l'état gazeux à l'état liquide en échangeant une quantité de chaleur Q_C avec la source chaude (eau). (Gaz haut pression) \longrightarrow (Liquide haut pression).

-le liquide est ensuite détendu en passant dans une vanne de détente (tube capillaire) sans échange de travail ni de chaleur avec le milieu extérieur.

(Liquide HP) \longrightarrow (Liquide BP).

-le liquide traverse enfin l'évaporateur ou il passe progressivement de l'état liquide à l'état gazeux en échangeant une quantité de chaleur Q_F avec la source froide.

(Liquide BP) \longrightarrow (GAZ BP).

Chapitre V:
ESSAIS ET RESULTATS

Essais :

V-1. Etude de l'efficacité de la machine frigorifique :

On décide de faire des mesures avec la machine frigorifique fonctionnant pendant une trentaine de minutes. Pendant ce temps vous relèverez toutes les cinq minutes :

- la température θ_F de l'eau de la source froide où se trouve le serpentin 'évaporateur'.
- la température θ_c de l'eau de la source chaude où se trouve le serpentin 'condenseur'.
- la puissance consommée par le compresseur P_{CP} .

V-1-1-Température initiale :

- Relever les températures des deux réservoirs : elles doivent être sensiblement égales.

V-1-2.Mise en marche :

- Relier la boîte de raccordement au secteur et déclencher un chronomètre, le compresseur commence à fonctionner.

V-1-3.La mesure du travail mis en jeu :

Un Wattmètre permet de mesurer la puissance électrique absorbée par le compresseur. Celle-ci reste constante pendant les mesures.

V-1-4.Tableau de mesures :

- tout les cinq minutes, relever les valeurs θ_F , θ_c , P_C et remplir le tableau suivants :

T (minutes)	0	5	10	15	20	25	30
θ_F							
θ_c							
P_C (watt)							

V-1-5.Evolution des températures en fonction du temps :

- Tracer sur même graphe les deux courbes : $\theta_F = f(t)$, $\theta_c = f(t)$.

-La réponse :

Après la mis en marche de la machine pendant 30 minute on a obtiens les résultats suivant

1- les valeurs θ_F , θ_c , P_C sur le tableau suivants :

T (minutes)	0	5	10	15	20	25	30
θ_F	33.2	28.9	25.2	22.7	20.4	18.9	17.7
θ_c	33.2	33.3	34.7	36.2	38	39.2	40
$P_{C(watt)}$	0	140	132	132	130	131	134

Tableau (V-1) les valeurs de θ_F , θ_c ,

2-graph pour les deux courbes :

$\theta_F = f(t)$. $\theta_c = f(t)$.sur le même courbe; voir fiche technique :

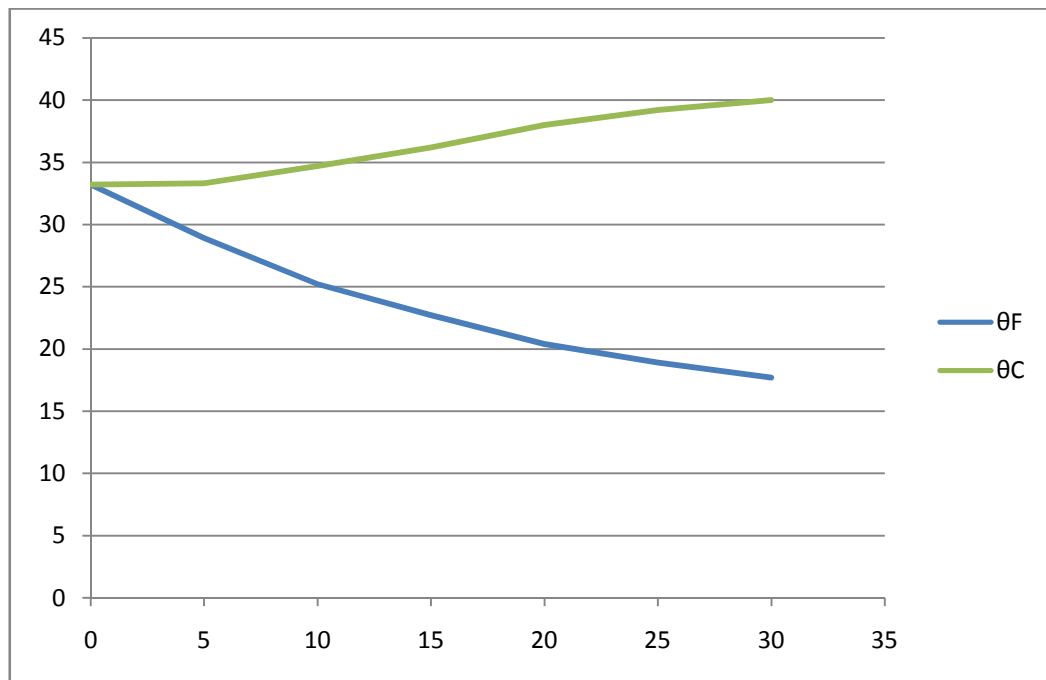


Figure (v-1) : évolution des températures en fonction du temps $\theta_F = f(t)$. $\theta_c = f(t)$.

- on remarque que la température θ_F de l'eau de la source froid ou se trouve le serpent in 'évaporateur 'est descendant en fonction du temps à partir de la valeur initiale égale 33.2°C après 30 minute atteindre une valeur 17.7°C .

Par contre la température θ_c de l'eau de la source chaude ou se trouve le serpent in 'condenseur 'est ascendant en fonction du temps à partir de la valeur initiale égale 33.2°C après 30 minute atteindre une valeur 40°C .

C'est à dire les deux courbe sont inverse en fonction du temps.

-au niveau du compresseur après 5 minutes de démarrage la puissance égale 140 watt en suit elle va diminuer et prend une valeur 132watt après les 10 et 15 minute et une valeur presque stable 130watt après 20.25 minute afin d'arriver à une valeur de 134watt après 30 minute.

- conclusion :

cette résultat signifie qu'il y a d'un échange de chaleur entre le fluide frigorigène R134a et de l'eau de l'évaporateur à travers la surface d'échange de serpentin .donc la source froid ou se trouve le serpentin 'évaporateur'. En plus au niveau de serpentin d'évaporateur le fluide frigorigène R134a entre de l'état liquide et sortant à l'état vapeur pour changer sa l'état physique il absorbe la chaleur de l'eau et cette dernière devienne froide $\theta_F = 17.7^0 \text{ c}$.

Est d'autre part il y a d'un échange de chaleur entre le fluide frigorigène R134a et de l'eau de condenseur à travers la surface d'échange de serpentin. Donc la source chaude ou se trouve le serpentin 'condenseur'.

Au niveau de condenseur le fluide frigorigène R134a entre de l'état vapeur et sortant à l'état liquide pour changer sa l'état physique il cède sa chaleur au l'eau et cette dernière devienne chaude $\theta_c = 40^0 \text{ c}$.

-après la mise marche de l'installation la puissance du CP atteindre 140watt il travail plain de sa puissance puis va dégrader et atteindre 130watt en fonction de circulation de fluide frigorigène R134a à l'intérieures de circuit frigorifique qui à changer l'état physique comme nous étions explique précédemment et en fonction du temps jusqu'a la stabilisation de cette dernier

V-2-1.calcul de l'efficacité réelle de la pompe(COP)

On se propose de calculer l'efficacité réelle (coefficient de performance' COP') pour chaque intervalle de temps $\Delta t = 5 \text{ minute}$.

A chaque instant, la quantité de chaleur dQ absorbée par le fluide frigorigène au réservoir d'eau froid et opposée à la quantité de chaleur dQ_F cédée par l'eau :

$$dQ_F = m \cdot c_{\text{eau}} \cdot d\theta_F \quad \text{avec : } m = 2.8 \text{ kg}, \rho = 10^3 \text{ kg/m}^3, v = 2.8 \text{ L}, c_{\text{eau}} = 4.18 \cdot 10^3 \text{ j.kg}^{-1} \cdot \text{k}^{-1}$$

La puissance thermique cédée par la source froid : $P_{\text{th}} = dQ_F/dt$.

$$\text{COP} = P_{\text{TH}}/P_c$$

- créer les variables convenables.

-Dresser un tableau de résultat.

-Coté évaporateur :

T (minutes)	5	10	15	20	25	30
$\Delta\theta_F (^{\circ}C)$						
$dQ_F (J)$						
$P_{th} (W)$						

- coté condenseur :

T (minutes)	5	10	15	20	25	30
$\Delta\theta_c (^{\circ}C)$						
$dQ_c (J)$						
$P_{th} (W)$						

- calcule le COP

T(minute)	5	10	15	20	25	30
COP						

V-2-2.Evaluation de l'efficacité en fonction des températures :

- tracer la courbe COP = f ($\theta_c - \theta_f$).

- conclusion.

-Réponse :

$$dQ_F = m \cdot c_{eau} \cdot d\theta_F \quad \text{avec : } m = 2.8\text{kg}, \rho = 10^3 \text{ kg/m}^3, v = 2.8\text{L} \quad c_{eau} = 4.18 \cdot 10^3 \text{ j.kg}^{-1} \cdot \text{k}^{-1}$$

$$dQ_c = m \cdot c_{eau} \cdot d\theta_c \quad \text{avec : } m = 2.8\text{kg}, \rho = 10^3 \text{ kg/m}^3, v = 2.8\text{L} \quad c_{eau} = 4.18 \cdot 10^3 \text{ j.kg}^{-1} \cdot \text{k}^{-1}$$

Exemple de calcul :

$$dQ_F = 2.8 \cdot 4.18 \cdot 1000 \cdot (4.3) = 50327.2 \text{ j. } P_{th} = 50327.2 / 300 = 167.757 \text{ wat.}$$

$$dQ_c = 2.8 \cdot 4.18 \cdot 1000 \cdot (0.1) = 1170.4 \text{ j. } P_{th} = 1170.4 / 300 = 3.901 \text{ wat.}$$

Les autres calculs sont résumé dans le tableau suivant :

Coté évaporateur :

T (minutes)	5	10	15	20	25	30
$\Delta\theta_F (^{\circ}C)$	4.3	3.7	2.5	2.3	1.5	1.2

dQ_F (J)	50327.2	43304.8	29260	26919.2	17556	14044.8
P_{th} (W)	167.757	144.34	97.53	89.73	58.52	46.816

Tableau (V-2) les valeurs de P_{th} cote évaporateur

- coté condenseur :

T (minutes)	5	10	15	20	25	30
$\Delta\theta_c$ ($^{\circ}$ c)	0.1	1.4	1.5	1.8	1.2	0.8
dQ_c (J)	1170.4	16385.6	17556	21067.2	14044.8	9363.2
P_{th} (W)	3.901	54.61	58.52	70.224	46.816	31.21

Tableau (V-3) les valeurs de P_{th} cote condenseur

- calcule le COP

T(minute)	5	10	15	20	25	30
COP évaporateur	1.198	1.093	0.738	0.690	0.446	0.349
COP condenseur	0.0278	0.413	0.44	0.54	0.357	0.349

Tableau (V-4) les valeurs de cop_{ev} , cop_{cd}

-Après le calcule le cop d'évaporateur (source froid) est plus grand que le cop de condenseur (source chaude)

-Tracer la courbe $COP = f(\theta_c - \theta_f)$.

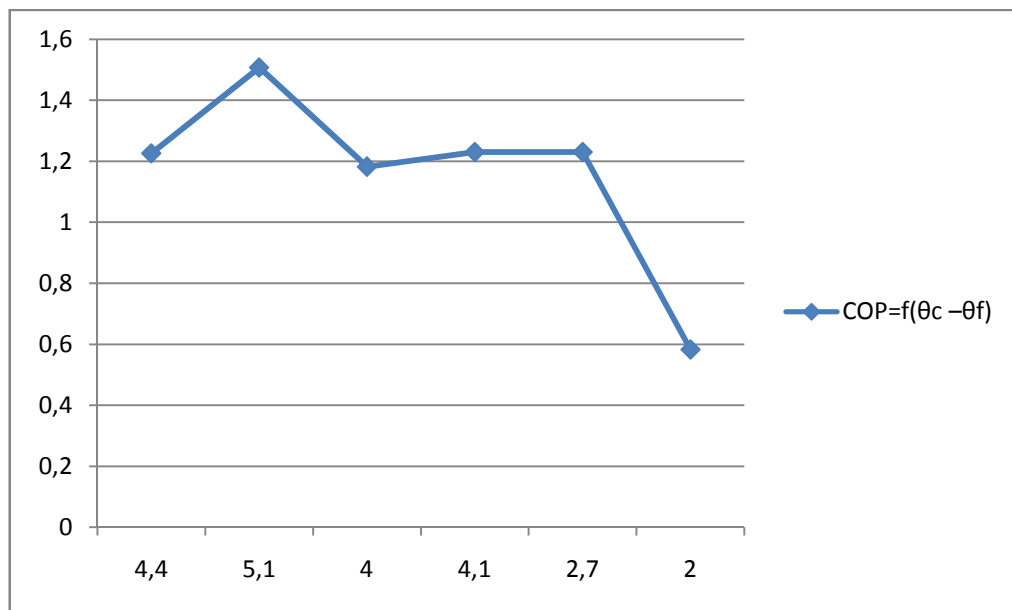
Pour tracer la courbe $COP = f(\theta_c - \theta_f)$.il faut calculer $(\theta_c - \theta_f)$ et calculer ensuite le cop.

	5 min	10	15	20	25	30
$\theta_c - \theta_f$	4.4	9.5	13.5	17.6	20.3	22.3
$\Delta\theta_c$ ($^{\circ}$ c)	4.4	5.1	4	4.1	2.7	2
dQ (J)	51497.6	59690.4	46816	47986.4	31600.8	23408
P_{th} (W)	171.658	198.968	156.053	159.95	105.336	78.0266
$P_{C(watt)}$	140	132	132	130	131	134
Cop cd	1.226	1.5073	1.1822	1.230	0.804	0.5822

Tableau (V-5) les valeurs de cop

	5min	10	15	20	25	30
cop	1.226	1.5073	1.1822	1.230	0.804	0.5822
$\theta_c - \theta_f$	4.4	9.5	13.5	17.6	20.3	22.3

Tableau (V-6) les valeurs de cop, $\theta_c - \theta_f$



Voir fiche technique : Figure (v-2) : Evaluation de l'efficacité en fonction des températures : $COP = f(\theta_c - \theta_f)$.

- conclusion.

Après les résultats obtenus on peut dire que le coefficient de performance COP est fonction de la différence de température entre la source froide et la source chaude, plus cette différence est faible, plus le coefficient de performance COP est faible.

Exemple : après 20 minutes de fonctionnement l'écart $(\theta_c - \theta_f) = 4,1$ le COP = 1,23 et plus petit paraît le COP qui égale 1,5073 après 10 minutes ou l'écart égale $5,1^\circ\text{C}$.

V-3-1. Comparaison de l'efficacité réelle avec l'efficacité idéale :

Pour une machine frigorifique fonctionnant de façon idéale, donc réversible, entre une source froide à la température T_f (en K) et une source chaude à la température T_c (en K), on aurait :

$$COP_{MAX} = T_f / (T_c - T_f) \quad COP_{MAX} = T_c / (T_c - T_f)$$

- Dresser un tableau des valeurs et tracer la courbe correspondante, en la superposant à la courbe $COP = f(\theta_c - \theta_f)$ du 1-6.

T(minute)	5	10	15	20	25	30
COP_{MAX}						

Conclusion.

La Réponse:

Calcule le COP source froide (machine frigorifique) et source chaude pompe à chaleur.

	5min	10	15	20	25	30
T_C	313.2	316.2	317.9	319.2	320.4	321.6
T_F	264.3	262.6	260.5	259.6	258.8	258.5
$T_C - T_F$	48.9	53.6	57.4	59.6	61.6	63.1
COP_{MAX} CD	6.404	5.899	5.538	5.3557	5.201	5.096
COP_{MAX} EV	5.404	4.899	4.538	4.355	4.201	4.096

Tableau (V-7) les valeurs de $cop_{MAX}(ev)$, $cop_{MAX}(cd)$,

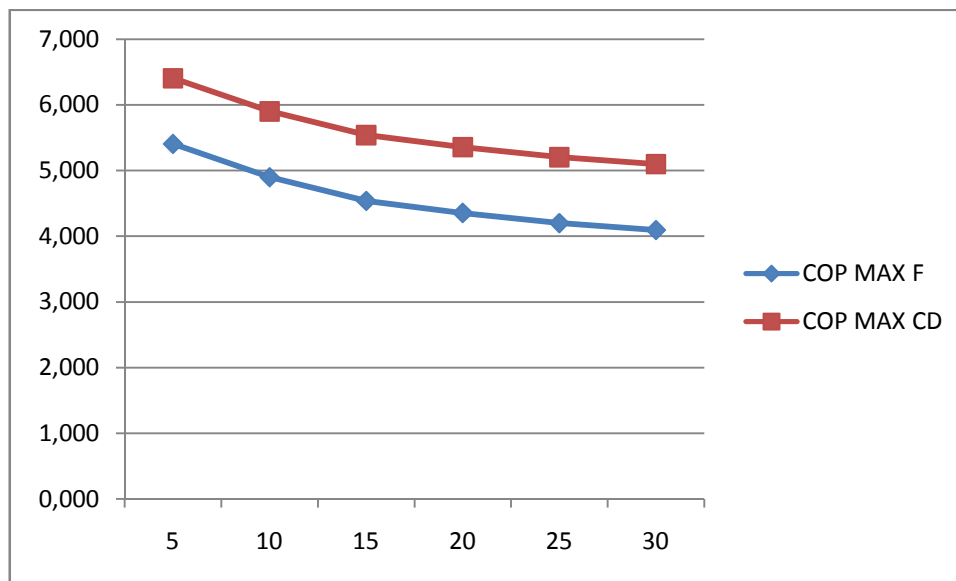


Figure (v-3) : Courbes $COP_{MAX F}$, $COP_{MAX CD}$ en fonction du temps:

Conclusion : on remarque que le coefficient idéal est plus grand que le coefficient réel et contrairement au travail réel, il ne prend pas en compte les pertes énergétiques diverses au niveau du compresseur..

V-4-1. Etude de fonctionnement sur le diagramme de MOLLIER :

Il s'agit ici de tracer le cycle thermodynamique de la machine frigorifique dans le diagramme de Mollier ou pression –enthalpie à partir du relevé de différentes grandeurs (pression, températures).

Après 30 minutes de fonctionnement de la machine frigorifique nous relevons les températures suivantes :

θ_1 : sortie de l'évaporateur et entrée au compresseur.

θ_2 : sortie du compresseur et entrée au condenseur.

θ_c : température de l'eau dans la source chaude (condenseur).

θ_4 : sortie de condenseur et l'entrée à la vanne de détente.

θ_5 : sortie de détendeur et entrée à l'évaporateur.

θ_f : température de l'eau dans la source froide (évaporateur).

Ainsi que les pressions P_1 (coté évaporateur) et P_2 (coté condenseur).

T(minute)	$\theta_1(^{\circ}\text{C})$	$\theta_2(^{\circ}\text{C})$	$\theta_c(^{\circ}\text{C})$	$\theta_4(^{\circ}\text{C})$	$\theta_5(^{\circ}\text{C})$	$\theta_f(^{\circ}\text{C})$	P(bars)	P_2 (bars)
30								

-Attention : les manomètres indiquent des pressions relatives : il faut donc ajouter 1bar à la lecture pour obtenir des pressions absolues.

-Sur le diagramme fourni placer les points dans leurs positions et tracer le cycle de la machine frigorifique sur le diagramme de Mollier (pression –enthalpie) pour le fluide frigorigène R134a. (Voir fiche technique).

La réponse :

Si on prend les paramètres de fonctionnement après 10 minute de fonctionnement de l'installation on obtient le résultat suivant :

T(minute)	$\theta_1(^{\circ}\text{C})$	$\theta_2(^{\circ}\text{C})$	$\theta_c(^{\circ}\text{C})$	$\theta_4(^{\circ}\text{C})$	$\theta_5(^{\circ}\text{C})$	$\theta_f(^{\circ}\text{C})$	P_1 (bars)	P_2 (bars)
10	26.9	43.2	34.7	41.6	-10.4	25.2	1	11.5

Tableau (V-8) les valeurs des paramètres de fonctionnement de la machine

Figure (v-4) : Cycle de la machine sur le diagramme de Mollier

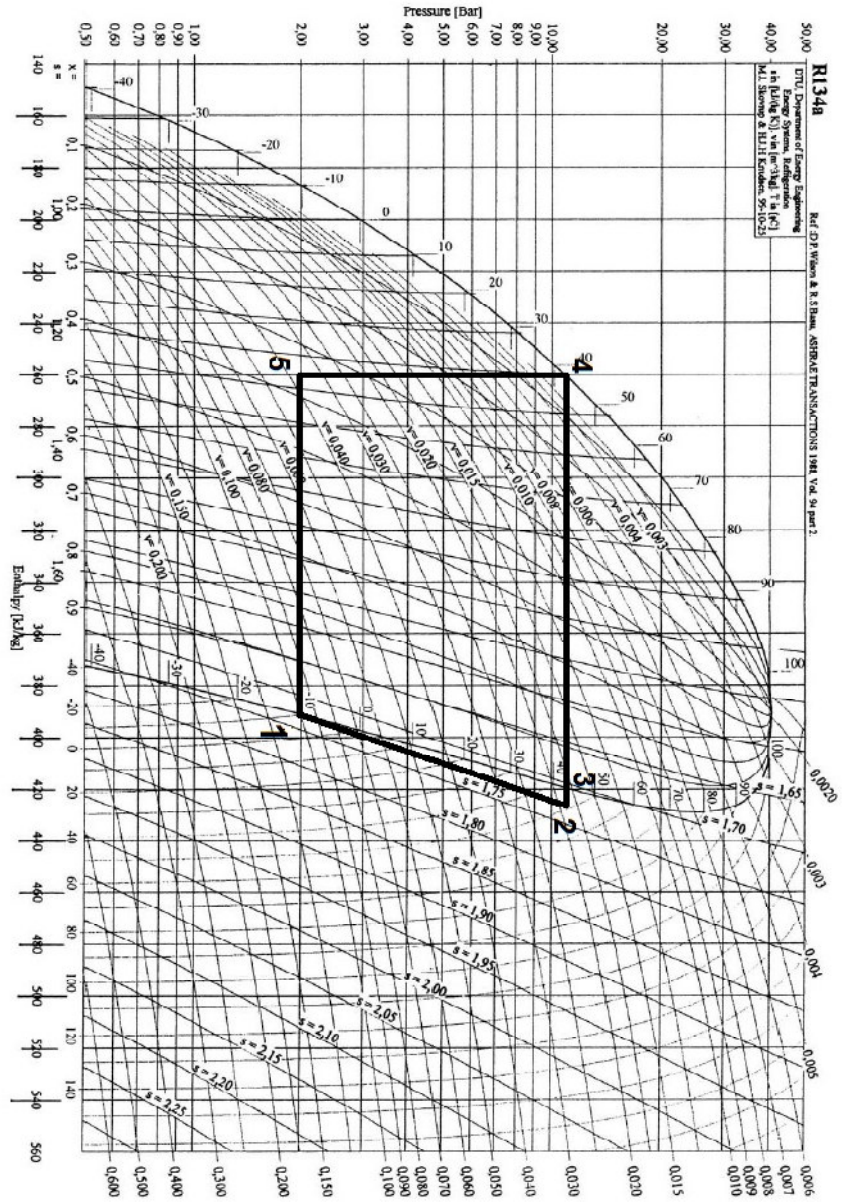


Figure (v-5) : Evolution des fluides frigorigènes de la machine frigorifique dans le diagramme de Mollier

Conclusion

Après la conception et la construction d'une machine frigorifique à compresseur mécanique, l'installation de ses composants de base, la charge et le fonctionnement du circuit de réfrigération au gaz, ce travail est considéré comme une réalisation importante dans ce mémoire, grâce à Allah Tout-Puissant, qui nous a permis de le faire.

Grâce à la suggestion de l'encadreur, le professeur Dr. GUERBAAI-Salah, que j'apprécie et respecte pour ses conseils avisés et son activité distinguée dans son travail au sein du Département de génie mécanique. Nous avons pu effectuer les différentes mesures nécessaires selon les étapes requises au cinquième chapitre de la température de l'évaporateur et de la température du condenseur dans les 30 minutes suivant le fonctionnement de la machine frigorifique à l'aide d'un thermomètre.

De plus, nous avons effectué le travail suivant :

- Mesure de la pression du condensateur à l'aide d'un manomètre.
- Tracer l'évolution de gaz réfrigérant (fréon) R134a sur un diagramme de mollier de cette machine ainsi.
- Le Calcul du coefficient de performance ou de qualité de cette machine.

En comparant ces résultats et en les représentant sous forme de courbes, le résultat était identique à ce que nous avons mentionné dans la partie théorique, c'est-à-dire que la machine frigorifique à compresseur mécanique, la production de froid se fait dans l'évaporateur, où nous avons montré à travers les mesures que la température de l'eau à refroidir avait diminué de 33 degrés Celsius à environ 17 degrés Celsius en retour, à la température de l'eau à chauffer dans le condenseur de 33°C à 41°C.

Ceci explique qu'il y ait un échange de chaleur entre le gaz réfrigérant, qui transforme son état physique de l'état liquide à l'état gazeux en absorbant la chaleur de l'eau pour l'évaporateur, et ce dernier diminue sa température. Au condenseur, car le gaz réfrigérant après être entré dans le condenseur à l'état gazeux en ressort à l'état liquide. Cela est dû à la perte de chaleur et au transfert de cette dernière à l'eau à travers la surface d'échange de chaleur du condenseur.

Nous avons constaté l'état du gaz après son passage dans la boucle et sa sortie du condenseur qu'il est 100% liquide à travers le voyant liquide.

Nous avons pu calculer le coefficient de performance, car nous avons trouvé une valeur acceptable.

Nous pourrions tracer le cycle de réfrigération d'une machine frigorifique dans un diagramme de Mollier.

Références bibliographiques

- [1] institut internationale du froid/ France. Organisation intergouvernemental pour la développement du froid ; 177, boulevard Malesherbes 75017 paris. France site .www.iifir.org
- [2] R. Houdart, " cours de machines frigorifique", " I.U.T. de Saint-Omer Dunkerque .Départements Génie thermique et énergie", Olivier PERROT, (2010 - 2011).pg8,
- [3] Francis CABEZA, " LES BASES DE FROID " 5^e édition de la théorie à la pratique formation et perfectionnement des techniciens du froid, DIDAFRIO-82000MONTAUBAN (franc) 2013.site :www.didafrio.com
- [4] Pierre Rapin, Patrick Jacquard, " Aide –mémoire .Formulaire du froid, DUNOD, (France), (2003)
- [5] Claude CHEZE, Pascal BAUER, " ENERGETIQUE La thermodynamique, des principes aux applications Principe, système simples, utilisation,, Ellipses Edition, (2011) .
- [6] A. S. BOUNOUIOUA, modélisation d'une machine frigorifique à compression mécanique Mémoire de Magister en Génie civil. Centre universitaire Oum el Bouaghi, 2008
- [7] Le confort thermique : site : [https:// conseils thermiquesque.org](https://conseils-thermiques.org)
- [8] Fiche de synthèse PARTIE A : Les machines thermiques réceptrices. Terminale STL – SPCL Systèmes et Procédés, sit <https://docplayer.fr/60496419-1-premier-principe-de-la-thermodynamique.html>:
- [9] Jacques BERNIER , Frédéric MARTIN, " Itinéraire du Frigoriste", Manuel d'intervention, PYC 3^{ème} Edition, (1995).
- [10] CfmnLog - Cours générale le froid
www.coursindustriels.com/uploads/2/6/0/8/26080957/cours_general_le_froid.pdf
- [11] A. OSMALI, étude et dimensionnement d'un entrepôt frigorifique, Mémoire de Master 2 en Génie mécanique. Université BLIDA, 2020.

Résumé

La réfrigération est un domaine vaste et important, car ses applications englobent plusieurs domaines, notamment dans la conservation des denrées périssables telles que les légumes, les fruits, divers types de viande et d'autres aliments, ainsi que la conservation de certains matériels médicaux et du sang... Outre ses applications dans le domaine des industries chimiques et pétrochimiques pour diluer le gaz naturel et extraire ses dérivés..

Et la climatisation dans les bâtiments pour adoucir l'atmosphère intérieure dans les pièces et autres domaines. Parmi les possibilités technologiques pour la production de réfrigération industrielle, il y a une machine de réfrigération avec un compresseur mécanique.

La machine de réfrigération à compresseur mécanique dépend principalement du cycle de réfrigération principal. En plus de cela, il est possible de connaître l'étendue des performances du cycle de réfrigération à compression dans son travail, et cela se fait en calculant le coefficient de qualité.

Il est connu que l'efficacité du cycle de refroidissement du compresseur mécanique est liée à de nombreuses variables, notamment la température, la pression, le taux de transmission du fluide frigorigène, en particulier la quantité d'énergie consommée par le compresseur pour produire le travail.

Afin de pouvoir bien comprendre la performance du cycle de refroidissement, le chercheur ou l'étudiant dans son étude doit faire quelques mesures pratiques et quelques calculs simples nécessaires afin qu'il puisse former un arrière-plan préalable qui l'aidera à effectuer le bon fonctionnement et à maintenir divers équipements et systèmes de refroidissement.

Pour cette raison, nous avons conçu et créé une machine frigorifique à compresseur mécanique de manière simple et claire afin d'être un modèle valable pour l'étude du cycle de réfrigération de base destiné aux étudiants pour effectuer des travaux appliqués pour la spécialisation en mécanique énergétique.

- Cette construction didactique les aide à comprendre les composants de l'élément de base du cycle de refroidissement.
- Mesure de la température et de la pression de l'évaporation.
- Mesure de la température et de la pression du condensation.
- Traçage de changements de gaz réfrigérant (fréon) sur un diagramme Mollier.
- Calcul du coefficient de performance ou de qualité de cette machine.

Mots clés : *machine frigorifique, pompe à chaleur, coefficient de performance, Essais didactiques*

Abstract

Refrigeration is a vast and important field, as its applications encompass several fields, especially in the preservation of perishable foodstuffs such as vegetables, fruits, various types of meat and other foods, as well as the preservation of certain medical materials and some blood...In addition to its applications in the field of chemical and petrochemical industries to dilute natural gas and extract its derivatives.

And air conditioning in buildings to soften the indoor atmosphere in rooms and other areas. Among the technological possibilities for the production of industrial refrigeration, there is a refrigeration machine with a mechanical compressor. The mechanical compressor refrigeration machine mainly depends on the main refrigeration cycle. In addition to this, it is possible to know the scope of performance of the compression refrigeration cycle in its work, and this is done by calculating the quality coefficient.

It is known that the efficiency of the mechanical compressor cooling cycle is related to many variables, including temperature, pressure, refrigerant transmission rate, in particular the amount of energy consumed by the compressor to produce the work. In order to be able to fully understand the cooling cycle performance, the researcher or the student in his study should do some practical measurements and simple calculations necessary so that he can form a preliminary background that will help him to perform the correct operating and maintaining various equipments and cooling systems.

For this reason, we have designed and created a mechanical compressor refrigeration machine in a simple and clear way to be a valid model for the study of the basic refrigeration cycle intended for students to carry out applied work for the specialization in mechanics energy.

- This didactic construction helps them understand the components of the basic element of the cooling cycle.
- Measurement of temperature and pressure of the evaporator.
- Measurement of temperature and pressure Condenser.
- Tracing changes in refrigerant gas (freon) on a Mollier diagram.
- Calculation of the coefficient of performance or quality of this machine.

Keywords: *Refrigeration machine, Heat pump, Coefficient of performance, Didactic tests*

ملخص

يعتبر التبريد ميدانا واسعا ومهما حيث تشمل تطبيقاته عدة مجالات خاصة في حفظ المواد القابلة للتلف كالخضر والفواكه ومختلف أنواع اللحوم والأغذية الأخرى. وحفظ بعد المواد الطبية والدم...

إضافة إلى تطبيقاته في ميدان الصناعات الكيماوية و البتروكيمياة لتميع الغاز الطبيعي واستخراج مشتقاته...

وتكثيف الهواء في المباني لتلطيف الجو الداخلي في الغرف إلى غير ذلك من الميادين. ومن بين الإمكانيات التكنولوجية لإنتاج التبريد الصناعي آلة التبريد ذات الضاغط الميكانيكي.

تعتمد آلة التبريد ذات الضاغط الميكانيكي أساسا على حلقة التبريد الأساسية فكل تجهيزات التبريد من هذا النوع تشتغل بمبدأ واحد لحلقة التبريد الأساسية من جهة. إضافة إلى هذا يمكن معرفة مدى أداء حلقة التبريد الإنضغاطية في عملها وذلك بحساب معامل الجودة .

فمن المعلوم إن كفاءة دورة التبريد ذات الضغط الميكانيكي متعلقة بمتغيرات كثيرة منها درجة الحرارة والضغط ومعامل سريان مائع التبريد وخاصة كمية الطاقة المستهلكة بواسطة الضاغط لإنتاج العمل.

ولكي يتمكن الباحث أو الطالب في دراسته لمجال التبريد من الفهم الصحيح لأداء دورة التبريد يلزمه القيام بآء جراء بعض القياسات العملية وبعض الحسابات البسيطة اللازمة حتى يتمكن من تشكيل خلفية مسبقة تساعده في القيام بتشغيل الصحيح وصيانة معدات ونظم التبريد المختلفة.

ولهذا قمنا بتصميم وإنشاء آلة التبريد ذات الضاغط الميكانيكي بشكل بسيط وواضح لكي يكون نموذجا صالحا لدراسة حلقة التبريد الأساسية موجه للطلبة لإجراء الأعمال التطبيقية لتخصص الميكانيك الطاقوية.

- ويساعدهم هذا الإنشاء الديدأكتيكي في فهم مكونات عناصر حلقة التبريد الأساسية.

-قياس درجة الحرارة والضغط للمبخر.

-قياس درجة الحرارة والضغط للمكثف.

-تخطيط تغيرات الغاز التبريدي(فريون) على مخطط مولي.

-حساب معامل الأداء أو الجودة لهذه الآلة.

الكلمات المفتاحية: آلة تبريد ، مضخة حرارة ، معامل الأداء ، الاختبارات التعليمية