

I. Chapitre I : Généralités

- ✓ Historique du froid,
 - ✓ Cycle frigorifique de Carnot,
 - ✓ Coefficient de performance du cycle de Carnot.
-

I.1. Historique du froid

I.1.1 Généralités sur le froid

On distingue dans le domaine du froid deux domaines distincts :

- La réfrigération qui consiste produire et maintenir une température inférieure la température ambiante
- La cryophysique, qui est la science des propriétés de la matière très basse température (Conventionnellement le domaine cryogénique correspond aux températures inférieures à $120\text{ K} = -153,15\text{ °C}$).

I.1.2 Applications industrielles du froid

- Domaine médical : cryochirurgie, conservation de certains produits, organes...
- Industries alimentaires : conservation des aliments, pasteurisation des liquides.
- Industries chimiques et pétrochimiques : liquéfaction des gaz pour le transport, déparaffinage, débenzolage...
- Génie civil refroidissement des bétons, congélation des sols aquifères...
- Conditionnement des locaux : rafraichissent de l'air, conditionnement des patinoires, canons neige...
- Laboratoires d'essai et de recherche étude des matériaux et comportement de matière très basse température...

I.1.3 Production de froid

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

- Fusion d'un solide,

- Sublimation d'un solide
- Vaporisation d'un liquide
- Détente d'un gaz

Si l'on désire une production **continue** de froid, il est nécessaire de réaliser un **cycle**, c'est à dire de combiner un phénomène exothermique à un phénomène endothermique. Les machines frigorifiques seront donc au moins bithermes.

I.1.4 L'apparition des divers systèmes frigorifiques

Nous distinguerons deux grandes classes de systèmes frigorifiques : ceux qui consomment, pour fonctionner, de l'énergie mécanique ou son équivalent, les *systèmes mécano-frigorifiques*, et ceux qui consomment essentiellement de l'énergie thermique, les *systèmes thermo-frigorifiques*.

I.1.4.1 Systèmes mécano-frigorifiques

Parmi eux, deux familles se détachent :

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

I.1.4.2 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

I.1.5 Éléments de physique

I.1.5.1 La température

Le chaud et le froid sont appréciés par des sensations d'où une évaluation irrationnelle de ces grandeurs.

Aussi, il a été défini la température qui permet une objectivité des mesures. La température caractérise le niveau auquel la chaleur se trouve dans un corps permettant ainsi de dire qu'un corps est plus ou moins chaud qu'un autre.

Les températures dans le S.I. sont exprimées en (degrés Celsius) mais dans la littérature, on rencontre les degrés Fahrenheit (F) et les degrés Kelvin (K)

Conversion entre les différentes unités de températures :

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32), \quad ^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32, \quad \text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$

La chaleur est une forme d'énergie (énergie de mouvement des molécules) qui va d'un point chaud (température plus élevée) vers un point froid (température moins élevée). C'est la sensation perçue par nos organes de sens lorsque nous sommes placés devant un corps incandescent par exemple.

L'unité légale est le Joule (J) mais la kcal (kilo-Calorie) est également utilisée. Une kcal est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à un kg d'eau pour augmenter sa température de 1 C.

Conversion d'unités

$$1 \text{ kcal} = 4,185 \text{ kJ} = -1 \text{ Fg (frigorie)}$$

$$1 \text{ thermie (Th)} = 1000 \text{ kcal} = 4,185 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ BTU} = 1,053 \text{ kJ (BTO : British Thermal unit)}$$

I.1.5.2 La puissance

La puissance est le rapport de l'énergie fournie ou absorbée sur l'unité de temps. L'unité légale est le Watt (W).

Conversion d'unités :

$$1 \text{ kW} = 860 \text{ kCal/h}$$

$$1 \text{ kCal/h} = -1 \text{ Fg/h} = 1,163 \text{ W}$$

$$1 \text{ cv (cheval)} = 736 \text{ W}$$

I.1.5.3 La pression

L'unité légale de la pression est le Pascal (Pa) qui est égal à la pression uniforme exercée par une force de 1 N (Newton) sur une surface de 1 m².

L'unité de pression couramment utilisée par les frigoristes est le Bar et il faut distinguer :

Les appareils de mesure des pressions (appelés manomètres) sur les systèmes frigorifiques qui sont gradués généralement en pression relative (par rapport à la pression atmosphérique) les appareils de mesures du vide (appelés vacuomètres) sur les systèmes

frigorifiques qui sont gradués en pression absolue (par rapport au vide absolu).

Conversion d'unités

1 Bar = 10^5 Pa = 1.02 kg/m² = 0.986 atm = 750 mmHg

1 Bar = 14,54 PSI = 10.2 mCE (mètre de colonnes d'eau)

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

I.1.5.4 Le changement d'état

La maîtrise des deux états de la matière que sont la phase liquide et la phase vapeur est primordiale en froid.

Le changement d'état se définit comme la phase de transformation d'une phase vers une autre phase.

La figure I.1 donne les différents changements d'état possibles de la matière.

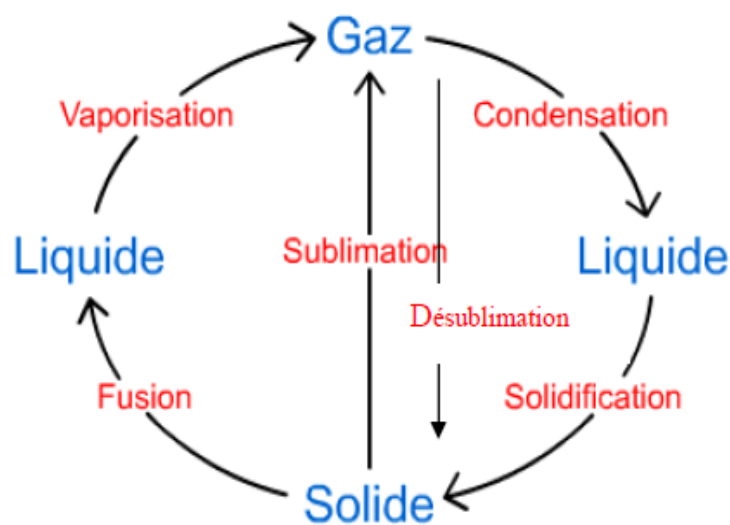


Figure I-1 Changements d'états de la matière.

A titre d'exemple, il sera rappelé les changements d'état pour l'eau. Ces changements sont les suivants :

- Le passage de l'état solide (glace) à l'état liquide, appelé la fusion
- Le passage de l'état liquide à l'état solide (glace), appelé la congélation (ou solidification)
- Le passage de l'état liquide à l'état liquide à l'état vapeur, appelé la vaporisation (ou l'ébullition ou encore l'évaporation)

- Le passage de l'état vapeur à l'état liquide, appelé la liquéfaction (ou condensation)

Ainsi sont définis les termes suivants

La chaleur latente de congélation ou chaleur latente de fusion suivant qu'on passe de la phase liquide vers la phase solide ou vice versa ; pour l'eau cette chaleur latente est de 334.8 kJ/kg (80 kCal/kg) à la pression atmosphérique, la température de congélation étant de 0C à cette pression

La chaleur latente de vaporisation ou de condensation suivant qu'on passe de la phase liquide à la phase vapeur ou vice versa ; pour l'eau cette chaleur latente est de 2254.7 kJ/kg (539 kCal/kg) à la pression atmosphérique, la température d'évaporation étant de 1000 à cette pression

Comme autres changements d'état, il faut citer :

- La sublimation (passage de l'état solide à l'état vapeur)
- La désublimation (passage de l'état vapeur à l'état solide)

En rappel, il existe pour tout corps pur, une relation pression température si et seulement si la vapeur est contact avec le liquide qui lui a donné naissance.

A chaque corps correspond une courbe de changement d'état représenté dans le diagramme thermodynamique pression - enthalpie (P-h) appelé diagramme enthalpique ou diagramme de Mollier des frigoristes.

Ce diagramme est utilisé pour l'étude des cycles de réfrigération.

Les autres diagrammes thermodynamiques ne sont pratiquement pas utilisés par les frigoristes.

Le diagramme Température - entropie (T-s) est utilisé à des fins pédagogiques ou lorsqu'on veut concevoir un procédé (applications aux machines thermiques).

Le diagramme enthalpie - entropie (h-s) aussi appelé diagramme de Mollier des motoristes est utilisé pour l'étude des cycles moteurs à vapeur.

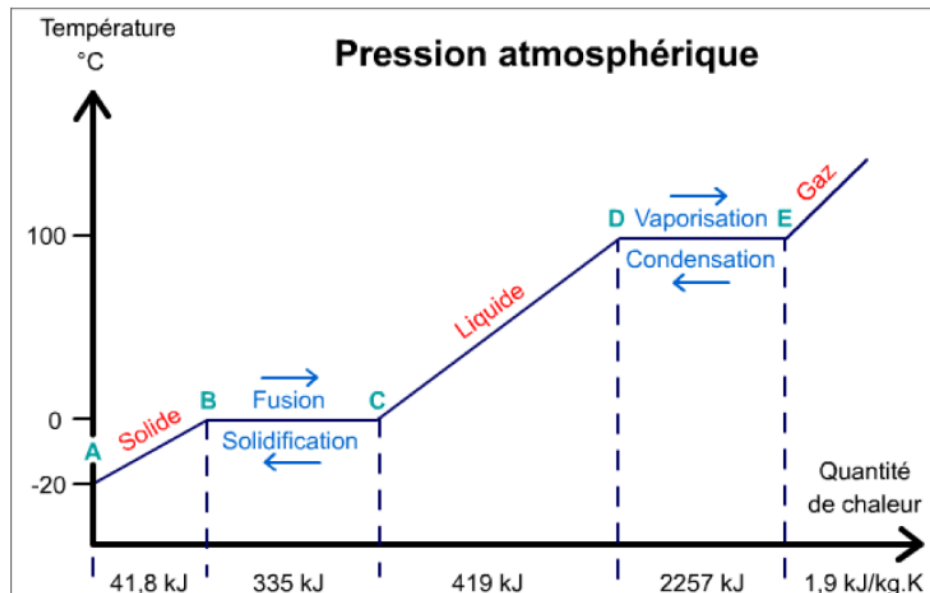


Figure I-2 Changement d'état de l'eau.

A-B : La température de la glace augmente régulièrement pour atteindre 0°C. La chaleur apportée et nécessaire à cette étape est de 41,8 kJ. C'est de la chaleur sensible (la température augmente).

En B : On a un bloc de glace de 1 kg à 0°C.

B - C : A 0°C, la 1^{ère} goutte de liquide apparaît et la glace commence à fondre. Pendant toute la fonte de la glace, le mélange liquide/solide aura une température rigoureusement égale à 0 °C. La chaleur apportée est de 335 kJ, c'est de la chaleur latente (la température reste constante).

En C : On a 1kg d'eau entièrement liquide à 0°C.

C - D : La température de l'eau s'élève progressivement jusqu'à atteindre 100°C. Pour réaliser cette augmentation de température, nous devons apporter 419 kJ. C'est de la chaleur sensible.

En D : On a 1kg d'eau entièrement liquide à 100 °C, c'est du liquide saturé.

D - E : A 100 °C, comme nous continuons à apporter de la chaleur, l'eau se met à bouillir et la première molécule de vapeur apparaît. C'est le début de l'évaporation. La température reste constante pendant tout le changement d'état. Quand la dernière goutte de liquide s'évapore, le changement d'état sera terminé, nous aurons apporté 2257 kJ de chaleur latente.

I.2. Cycle frigorifique de Carnot

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

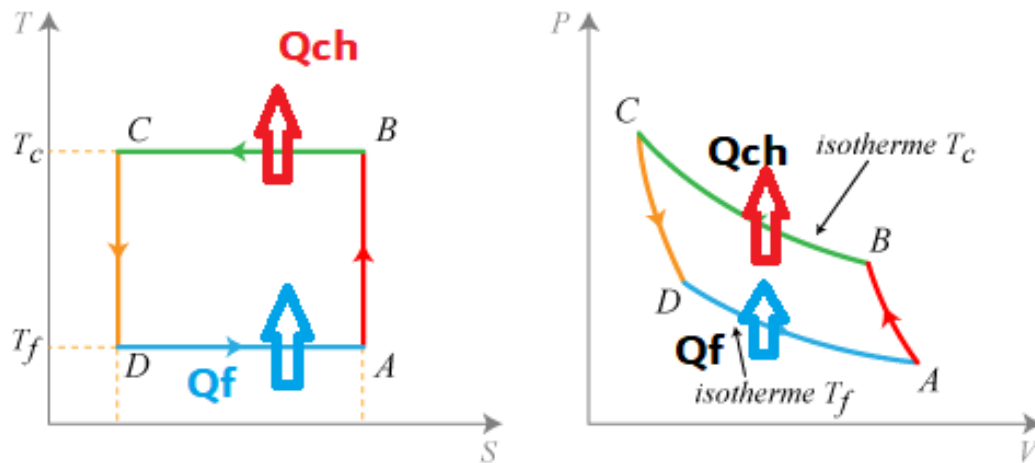


Figure I-3 Cycle de Carnot Inverse

$$1^{\text{er}} \text{ principe : } W + Q_f + Q_{ch} = 0$$

$$2^{\text{e}} \text{ principe : } Q_f = T_f (S_A - S_D) \text{ et } Q_{ch} = T_c (S_c - S_B)$$

$$\text{Or } S_A = S_B \text{ et } S_D = S_C$$

soit :

$$W = -(Q_f + Q_{ch})$$

$$W = -(T_f (S_A - S_D) + T_c (S_c - S_B))$$

$$W = -(T_f (S_A - S_D) + T_c (S_D - S_A))$$

$$W = -(S_A - S_D) (T_f - T_c)$$

$$\text{or : } S_D < S_A \text{ et } T_f < T_c \text{ et donc : } W > 0$$

Le système reçoit le travail W , prend la chaleur Q_f a la source froide et cède la quantité de chaleur Q_{ch} a la source chaude.

Caractéristiques du cycle frigorifique

- Source froide :

Q_f : chaleur absorbée par le fluide au cours d'un cycle [J].

q_f : chaleur absorbée par kg de fluide [$\frac{J}{kg}$].

- Source chaude :

Q_{ch} : chaleur cédée par le fluide au cours d'un cycle [J].

q_{ch} : chaleur cédée par kg de fluide [$\frac{J}{kg}$].

- Travail mécanique W [J] et w travail mécanique massique [$\frac{J}{kg}$].

- Soit τ la durée d'un cycle :

$$P_f = \left| \frac{Q_f}{\tau} \right| \quad \text{Puissance frigorifique [W].}$$

$$P_{ch} = \left| \frac{Q_{ch}}{\tau} \right| \quad \text{Puissance calorifique [W].}$$

$$P_m = \left| \frac{W}{\tau} \right| \quad \text{Puissance mécanique [W].}$$

- soit \dot{m} le débit massique de fluide :

$$P_f = \dot{m} \cdot q_f \quad \text{Puissance frigorifique [W].}$$

$$P_{ch} = \dot{m} \cdot q_{ch} \quad \text{Puissance calorifique [W].}$$

$$P_m = \dot{m} \cdot w \quad \text{Puissance mécanique [W].}$$

I.3. Coefficient de performance

Pour caractériser l'efficacité d'une machine frigorifique ou d'une pompe à chaleur, on considère, respectivement :

- le coefficient de performance frigorifique :

$$COP_F = \frac{\textit{froid produit à la source froide}}{\textit{énergie apportée au système}}$$

- le coefficient de performance calorifique :

$$COP_c = \frac{\textit{chaleur dégagée au puits chaud}}{\textit{énergie apportée au système}}$$

Ces rapports adimensionnels sont objectivement des rendements, mais on évite de leur donner ce nom pour ne pas choquer les habitudes car ils ont très souvent des valeurs supérieures à l'unité, contrairement aux rendements des machines thermiques produisant de l'énergie mécanique.

I.3.1 Machine consommant de l'énergie mécanique. Système au moins ditherme

La Figure I-4 schématise un tel système. Grâce à l'énergie mécanique (ou équivalente) W fournie à ce système, on absorbe à la source froide, à la température thermodynamique T_F , l'énergie

thermique Q_F et on rejette au puits chaud, à la température T_{ch} , l'énergie thermique Q_{ch} . Au lieu de considérer les énergies, on peut s'intéresser aux puissances mises en œuvre. Du fait de la puissance mécanique fournie P_m , on produit, à la source froide, une puissance frigorifique P_f et on rejette au puits chaud une puissance calorifique P_{ch} .

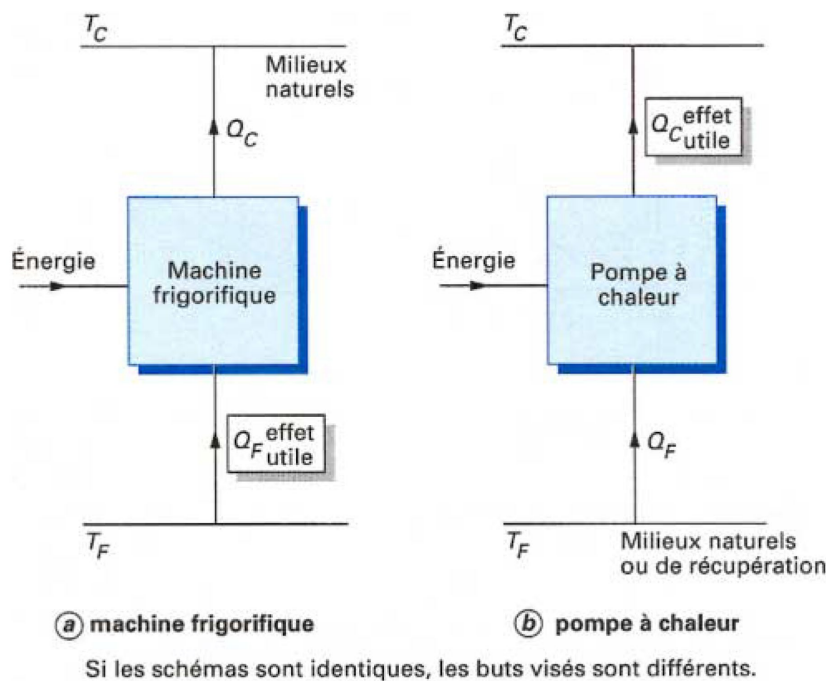


Figure I-4 Principe d'une machine frigorifique et d'une pompe à chaleur

Selon le premier principe :

$$+ |Q_F| + |W| - |Q_C| = 0$$

$$|W| = |Q_C| - |Q_F|$$

Le coefficient de performance frigorifique COP_F d'une machine frigorifique ditherme est :

$$COP_F = \frac{|Q_F|}{|Q_C| - |Q_F|} = \frac{1}{\frac{|Q_C|}{|Q_F|} - 1}$$

Il peut être supérieur, égal ou inférieur à 1 selon les conditions de fonctionnement du système.

Le coefficient de performance calorifique COP_C d'une pompe à chaleur ditherme est :

$$COP_C = \frac{|Q_C|}{|Q_C| - |Q_F|} = \frac{1}{1 - \frac{|Q_F|}{|Q_C|}}$$

On vérifie aisément que :

$$COP_C = COP_F + 1$$

Le coefficient de performance calorifique d'une pompe à chaleur est toujours supérieur à 1.

Pour une machine frigorifique (ou une pompe à chaleur) ditherme réversible, donc thermodynamiquement idéale, on doit satisfaire à

La relation de Clausius :

$$\frac{Q_F}{T_F} + \frac{Q_C}{T_C} = 0 = + \frac{|Q_F|}{T_F} - \frac{|Q_C|}{T_C} \Rightarrow \frac{|Q_C|}{|Q_F|} = \frac{T_C}{T_F}$$

Dans ce cas, les coefficients de performance frigorifique et calorifique de ces systèmes idéaux deviennent :

$$COP_F = \frac{T_f}{T_{ch} - T_f} \quad \text{et} \quad COP_C = \frac{T_{ch}}{T_{ch} - T_f}$$

I.4. Rendement du cycle

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

$$\frac{|Q_F|}{|W_{irr}|} < \frac{|Q_F|}{|W_{Th}|} \quad \text{donc} \quad COP_{F_{irr}} < COP_{F_{rev}}$$

$$\eta = \frac{COP_{F_{irr}}}{COP_{F_{rev}}}$$

où $COP_{F_{rev}}$: Coefficient de performance de cycle de Carnot

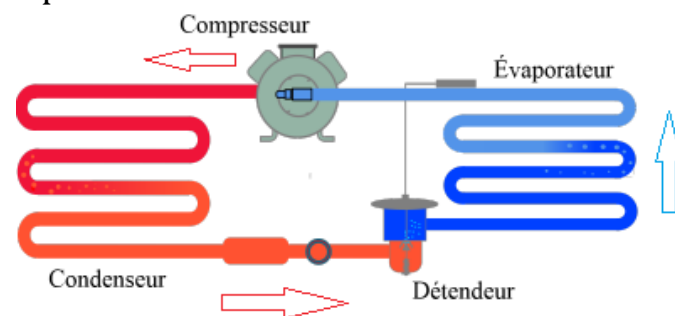
II. Chapitre II : Cycle thermodynamique d'une machine frigorifique à compression de vapeur

- ✓ Composants d'une machine frigorifique à compression de vapeur,
 - ✓ Représentation du cycle thermodynamique de base (sur un diagramme T-s et P-h),
 - ✓ Représentation du cycle thermodynamique pratique (sur un diagramme T-s et P-h),
 - ✓ Bilan thermique du cycle thermodynamique,
 - ✓ Etude des performances (COP...).
-

II.1. Composants d'une machine frigorifique à compression de vapeur

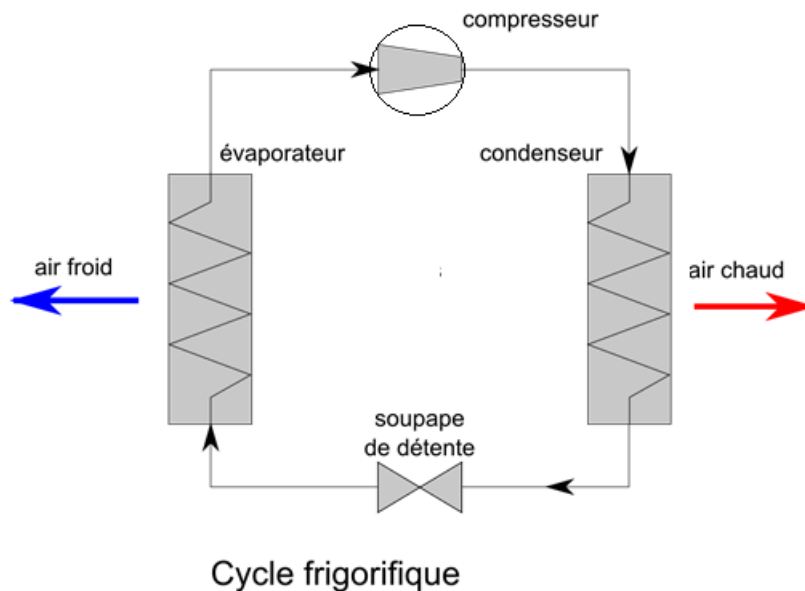
La machine frigorifique à compression de vapeur est composée de 4 organes principaux que sont :

- Le compresseur
- Le condenseur
- Le détendeur
- L'évaporateur



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

- La compression du fluide gazeux
- La condensation du fluide gazeux
- La détente du fluide liquide
- La vaporisation du fluide liquide (production du froid)



II.1.1 Le compresseur

Il 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



Compresseur

II.1.2 Le condenseur

il 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)

II.1.3 Le détendeur

Il 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.

Les détendeurs se regroupent en trois types :

<p>Les tubes capillaires ou détendeurs capillaires</p>	<p>Les détendeurs thermostatiques</p>	<p>Les détendeurs électroniques</p>

II.1.4 L'évaporateur

Il 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).

II.2. Représentation du cycle thermodynamique de base (sur un diagramme T-s et P-h)

II.2.1 Diagramme entropie-entropie-température (T-s)

On porte la température en ordonnée, l'entropie en abscisse. L'origine des entropies est prise au point triple du fluide considéré, On retrouve sur le graphique la zone diphasique, dont le point critique est le sommet. Le domaine vapeur est bien sûr situé du côté des entropies élevées. Les iso-titres vapeur sont tracées en pointillés à l'intérieur du domaine diphasique.

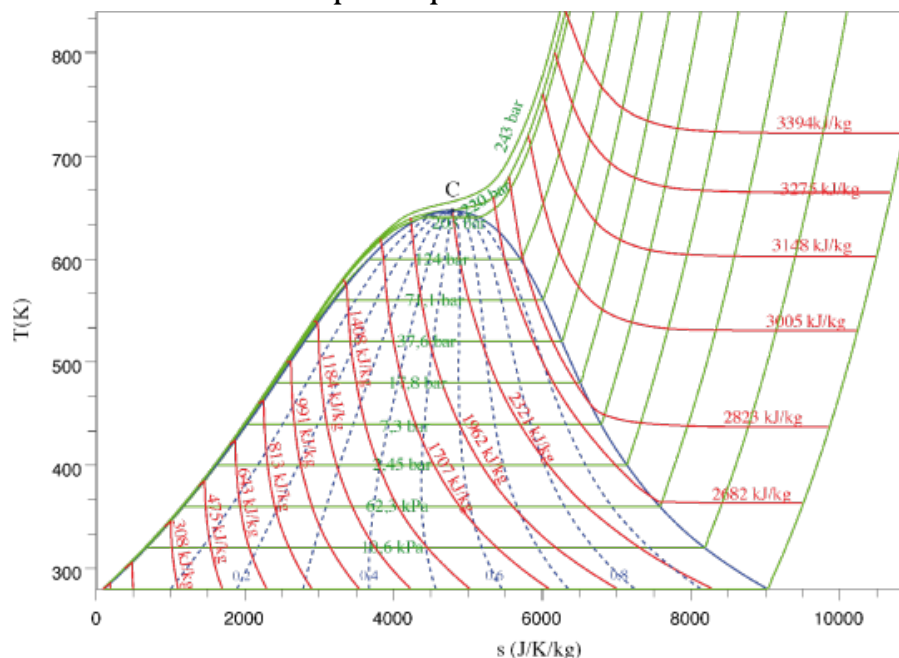


Figure II-1 Diagramme entropie-température de l'eau

Propriétés du diagramme entropique :

- Un cycle de Carnot est représenté par un rectangle
- Les isobares et les isochores sont des exponentielles croissantes (loin du point critique, si l'on peut admettre que

les capacités calorifiques ne dépendent pas de la température)

- la chaleur consommée dans une transformation réversible est égale à l'aire comprise entre la droite $T=0$ et la courbe décrivant la transformation.

II.2.2 Diagramme de Mollier enthalpie-pression (P-h)

On porte l'enthalpie en abscisse, la pression (ou son logarithme) en ordonnée.

Ce type de diagramme est surtout employé par les frigoristes. On y porte essentiellement les isothermes et les isentropiques.

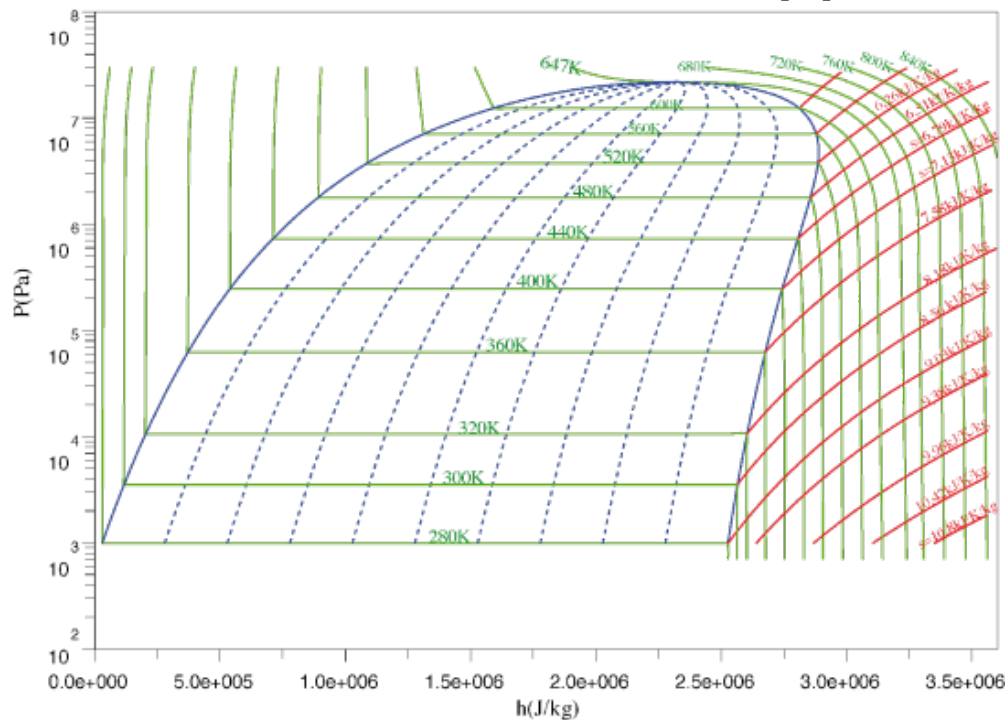


Figure II-2 Diagramme enthalpie-pression de l'eau

II.2.3 Cycle frigorifique

Description du cycle :

- Le fluide sort de l'évaporateur sous forme de vapeur saturante sèche à l'état 1
- Il subit dans le compresseur, une compression adiabatique réversible qui l'amène à l'état 2
- La vapeur subit dans le condenseur une transformation à pression constante : refroidissement jusqu'à la

température, puis liquéfaction totale à cette température (état 3).

- Le liquide passe dans le détendeur et y subit une détente isenthalpique qui le ramène à la pression initiale (état 4).
- La vaporisation du liquide restant se termine dans l'évaporateur pour un retour à l'état 1.

II.2.4 Représentation du cycle frigorifique théorique

Le cycle frigorifique est composé des transformations suivantes :

- Une compression polytropique (adiabatique pour le cycle théorique),
- Une condensation isobare,
- Une détente isenthalpique,
- Une vaporisation isobare.

II.2.5 Cycle théorique

Hypothèse :

La fin des changements d'état se situe exactement à la sortie des échangeurs : Point A en $x = 1$ et point C en $x = 0$.

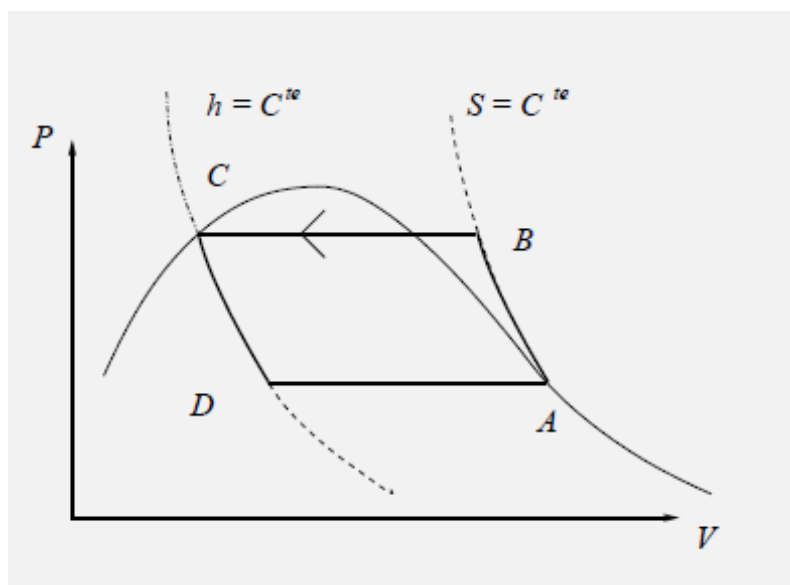


Figure II-3 Cycle théorique dans le diagramme Clapeyron

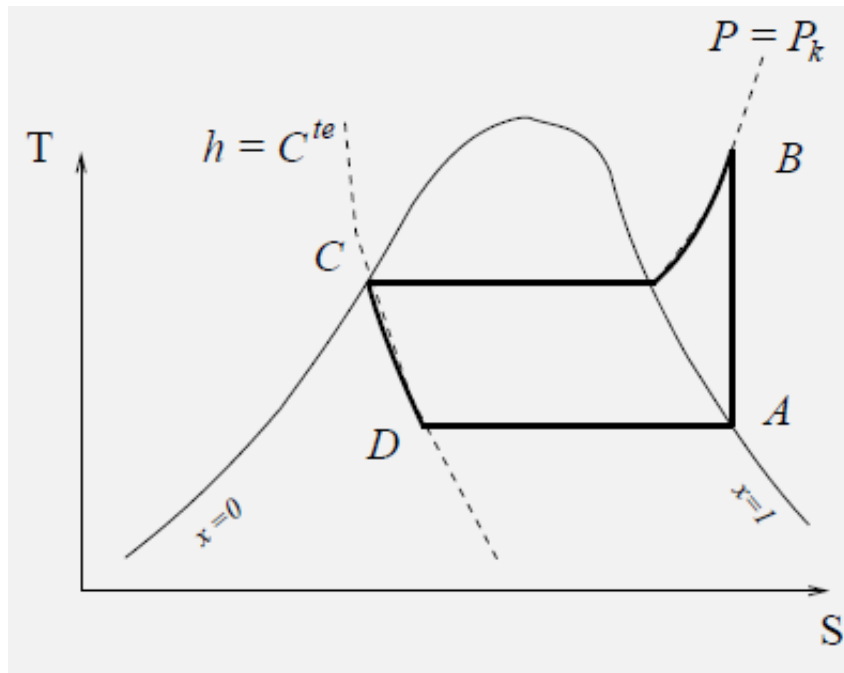


Figure II-4 Cycle théorique dans le diagramme T-S

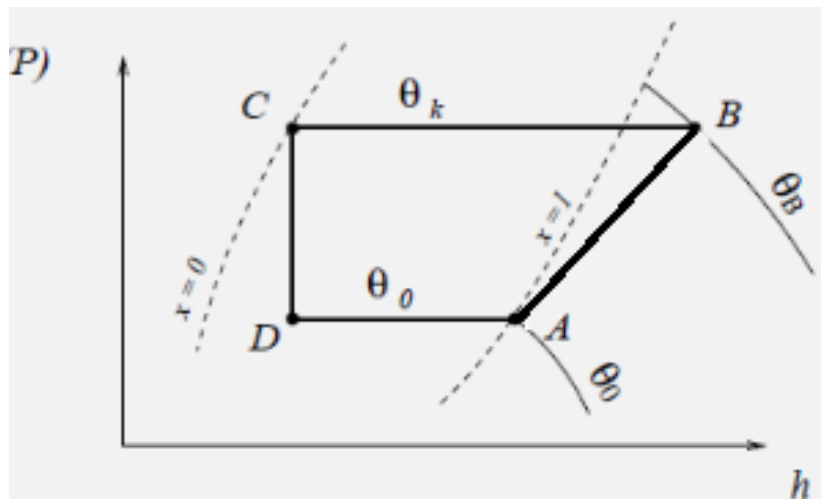
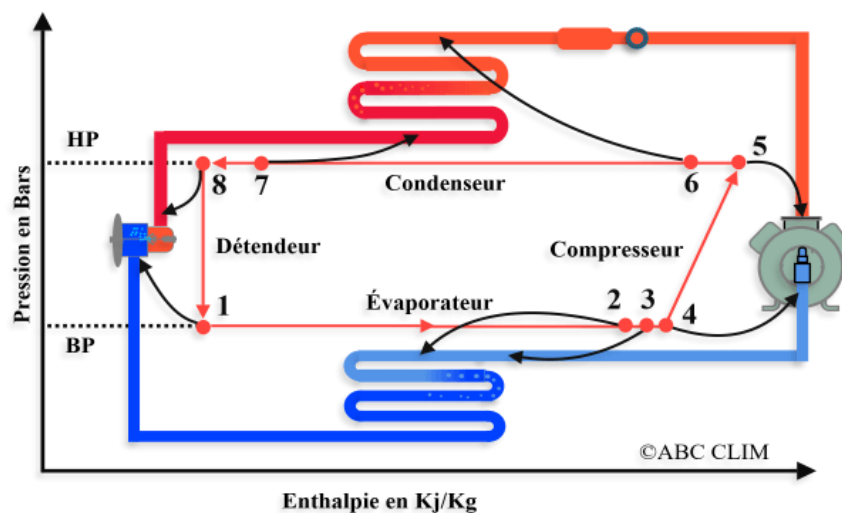
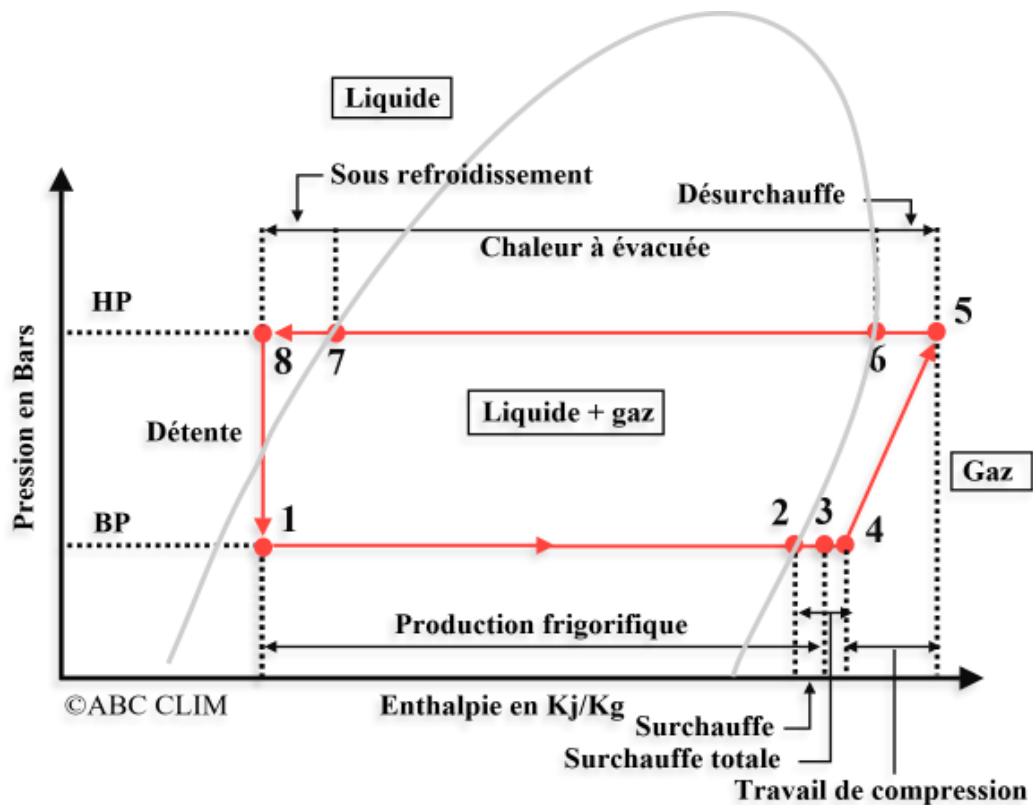


Figure II-5 Cycle théorique dans le diagramme P-h

II.2.6 Cycle pratique



1 à 2 : Le fluide s'évapore sa température et sa pression ne changent, mais son enthalpie augmente (quantité de chaleur). C'est la phase à laquelle le fluide capte les calories du milieu à refroidir.

État du fluide entré: mélange liquide vapeur

État du fluide sorti: vapeur surchauffée basse pression

2 à 3 : Ici c'est la fin de l'évaporateur cette zone sert à surchauffer le gaz afin d'être certain que tout le fluide soit évaporé.

4 à 5 : Le gaz est comprimé, l'augmentation de la pression s'accompagne d'une augmentation de température.

État du fluide entré: vapeur basse pression surchauffée

État du fluide sorti: vapeur haute pression surchauffée

5 à 6 : C'est la zone de la désurchauffe

6 à 7: Le fluide passe à l'état liquide dans le condenseur sa pression ne change pas, cette condensation qui s'effectue à une température plus élevée et il permet de céder de la chaleur, l'enthalpie diminue.

État du fluide entré: vapeur haute pression surchauffée

État du fluide sorti: liquide haute pression sous-refroidi

7 à 8 : Zone du sous refroidissement

8 à 1 : Le fluide se détend par laminage (abaissement brusque de la pression) à travers un orifice, une partie du fluide se vaporise.

État du fluide entré: liquide haute pression

État du fluide sorti: mélange liquide vapeur

Retour à l'étape 1 à 2

II.3. Bilan thermique du cycle

Utilisons l'expression du premier principe soit :

$$\Delta W_{mec} + \Delta Q = \Delta H$$

Soit en divisant par la masse totale du fluide :

$$\Delta w_{mec} + \Delta q = \Delta h$$

- Bilan de l'évaporateur ($w_{mec} = 0$, car l'évaporateurs ne fournit aucun travail au fluide) :

$$q_{evap} = q_f = h_A - h_D > 0 \text{ (Theorique)}$$

$$q_{evap} = q_f = h_4 - h_1 > 0 \text{ (Pratique)}$$

- Bilan du compresseur : si la compression est adiabatique alors ($q = 0$) :

$$w_{comp} = w_{mec} = h_B - h_A > 0 \text{ (Theorique)}$$

$$w_{comp} = w_{mec} = h_5 - h_4 > 0 \text{ (Pratique)}$$

- Bilan du condenseur ($w_{mec} = 0$) :

$$q_{cond} = q_{ch} = h_C - h_B < 0 \text{ (Theorique)}$$

$$q_{cond} = q_{ch} = h_8 - h_5 < 0 \text{ (Pratique)}$$

- Bilan du détendeur : $w_{mec} = 0, q = 0$

$$0 = h_D - h_C \text{ (Theorique)}$$

$$0 = h_1 - h_8 \text{ (Pratique)}$$

En sommant membre _a membre les équations il vient :

$$w_{comp} + q_f + q_{ch} = 0$$

II.4. Coefficient de performances (COP...)

- Le coefficient de performance frigorifique :

$$COP_F = \frac{\text{froid produit à la source froide}}{\text{énergie apportée au système}} = \left| \frac{q_f}{w_{comp}} \right| = \frac{(h_A - h_D)}{(h_B - h_A)}$$

- Le coefficient de performance calorifique :

$$COP_c = \frac{\text{chaleur dégagée au puits chaud}}{\text{énergie apportée au système}} = \left| \frac{q_{ch}}{w_{comp}} \right| = \frac{-(h_C - h_B)}{(h_B - h_A)}$$

- Rendement par rapport cycle de Carnot

$$\eta_F = \frac{COP_F}{COP_{Carnot}}$$

$$\eta_C = \frac{COP_C}{COP_{Carnot}}$$

III. Chapitre III : Fluide frigorigène

III.1. Introduction

Un fluide frigorigène est un fluide pur ou un mélange de fluides purs utilisés dans les installations thermodynamiques de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur. Un ensemble de critères permettent de définir le fluide le mieux adapté à une certaine utilisation.

Les HFC ont un PRG élevé, les hydrocarbures sont inflammables, l'ammoniac est toxique en cas de fuite, le dioxyde de carbone (CO₂) fonctionne à des pressions très élevées. Pour des équipements de froid et de conditionnement d'air utilisant l'un de ces fluides, il faut que les émissions soient minimisées (confinement) pour fonctionner proprement, efficacement, et en sécurité.

Une formation adaptée sera nécessaire pour certains de ces fluides, qu'ils soient inflammables ou à haute pression, dans le cadre de la maintenance ou la réparation des divers systèmes.

III.2. Les types de fluides:

- Les **CFC**, (chlorofluorocarbures) interdits depuis le 1er janvier 2001.
- Les **HCFC** (hydrochlorofluorocarbures), par exemple le R-22, nocif pour la couche d'ozone et générateurs d'effet de serre.
- Les **HFC** (hydrofluorocarbures), par exemple les R-134a, R-404A, R-407C, R-410A et R-507A, ont une action sur l'effet de serre.
- Les **fluides réfrigérants naturels**, par exemple le R-717 (ammoniac), R-744 (CO₂), R-290 (propane), R-600a (isobutane) et R-718 (eau) n'ont aucune action sur la couche d'ozone et l'effet de serre.
- Les HFC insaturés - des molécules à double liaison carbone, également appelées hydrofluorooléfines (**HFO**) sont classés A2L donc légèrement inflammables.

III.3. Critère de choix d'un fluide:

III.3.1 Critères thermodynamiques:

- Bonnes propriétés thermodynamiques en générale
- Puissance frigorifique volumétrique élevée
- Température critique élevée
- Point de congélation bas
- Taux de compression inférieur à $10 \left(\frac{\text{pression condensation}}{\text{pression évaporation}} \right)$
- Pression adaptée aux matériels et aux conditions d'utilisations
- Miscibilité avec le lubrifiant
- Stabilité chimique et thermique

III.3.2 Critères environnementaux:

Action sur la couche d'ozone, cette couche permet d'arrêter en partie les rayons ultra-violets, le chlore contenu dans certains fluides frigorigènes détruit cette couche d'ozone.

Un coefficient nommé ODP dont la référence est le R11 a été défini pour l'ensemble des fluides, ce coefficient doit être le plus faible possible.

Action sur l'effet de serre (réchauffement climatique), Le GWP (**Global Warming Potential**) ou (PRG = Potentiel de Réchauffement global) est une indication sur la nocivité d'un gaz par rapport à l'effet de serre. La référence est le CO₂ avec un GWP=1, plus ce chiffre est élevé plus le fluide est nocif.

III.3.3 Critères de sécurité :

- Non inflammable
- Non toxique pour l'homme à faible concentration

Cas particulier:

L'ammoniac est certainement le fluide le plus dangereux pour l'homme et son environnement, il possède une action irritante et corrosive pour la peau et les voies respiratoires des protections sont donc nécessaires (gants, masque, combinaison).

En outre étant soluble dans l'eau il représente un danger pour la nappe phréatique.