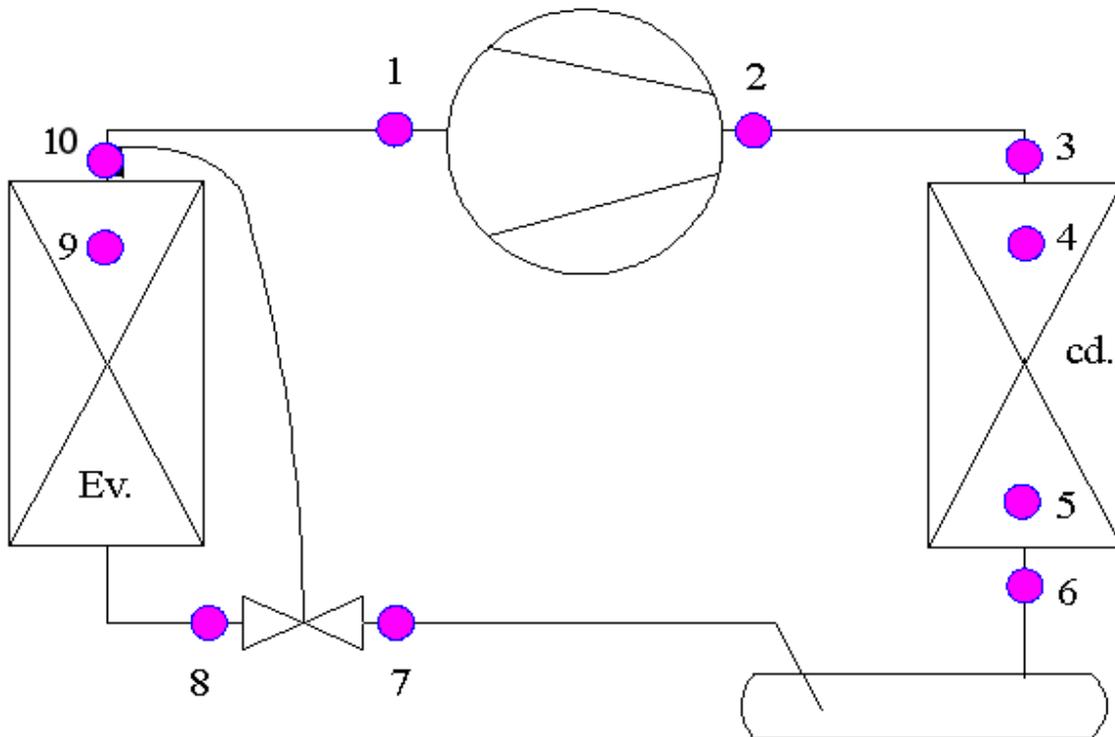


RESUME DIAGRAMME ENTHALPIQUE ET FORMULAIRE

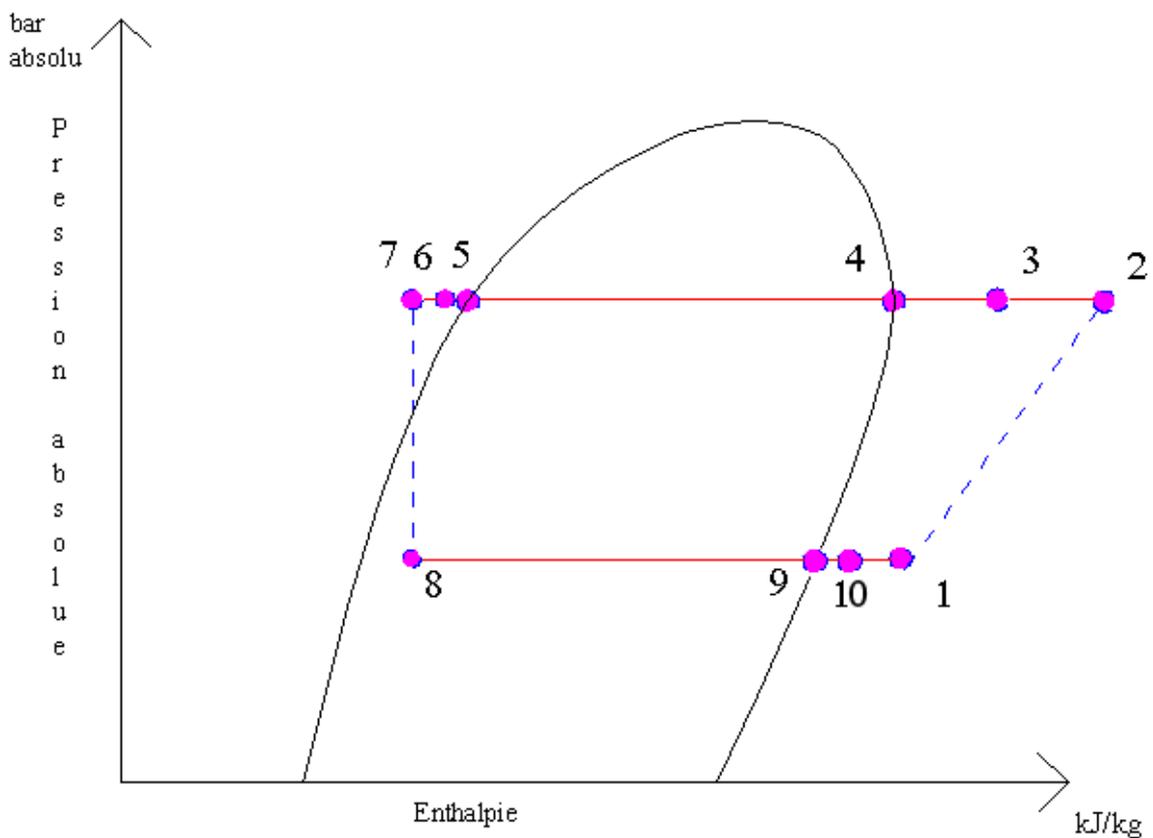
Construction du diagramme enthalpique ou de diagramme Mollier

Un système frigorifique se définit toujours par rapport à ces températures de fonctionnement. La température de condensation qui dépend de la température du médium de condensation de l'air ou de l'eau. La température d'évaporation qui dépend de la température de conservation et de l'humidité relative.

Schéma fluide de l'installation et points caractéristiques



Le cycle correspondant :



Détermination de la température de condensation

La température de l'air extérieur est de + 25 °C

Le DT total du condenseur est de 10 °C (donnée constructeur issue de la sélection du condenseur).

Il est impératif de choisir un condenseur avec un DT total le plus faible possible pour avoir une consommation énergétique la plus faible possible.

Pour déterminer la température de condensation (Tk) il suffit d'appliquer la formule suivante :

Température de condensation (Tk) = Température de l'air extérieur + DT total du condenseur

$$T_k = (+ 25) + 10 = + 35 \text{ °C}$$

Détermination de la température d'évaporation

La température intérieure de la chambre froide est de - 5 °C

L'humidité relative de la chambre froide à maintenir est de 90 % ce qui correspond à un DT total de 5 °C.

Pour la sélection de l'évaporateur, il faudra choisir ce DT total afin de maintenir la bonne humidité relative.

La température d'évaporation (To) sera donc de :

Température d'évaporation (To) = Température de la chambre froide - DT total à l'évaporateur

$$T_o = (- 5) - 5 = - 10 \text{ °C}$$

L'évaporation

Le liquide détendu entre dans l'évaporateur qui se scinde en deux zones...

La zone d'évaporation du point 8 vers le point 9 (To).

(T8 = T9 pour un fluide azéotrope et T8 < T9 pour un fluide zéotrope)

La zone de surchauffe fonctionnelle (ou à l'évaporateur ou au bulbe détendeur) du point 9 vers le point 10

La surchauffe des vapeurs à la sortie de l'évaporateur

Les vapeurs saturées, en fin d'évaporation, sont surchauffées pour garantir 100 % de vapeurs à l'entrée du compresseur et éviter ainsi des coups de liquide. Cette surchauffe est assurée par le détendeur thermostatique. On l'appelle surchauffe fonctionnelle au détendeur.

La surchauffe evap/bulbe_det est de 5 °C (valeur usuelle généralement mesurée)

La température au point 10 sera donc de :

Température sortie d'évaporateur = Température d'évaporation (To) + Surchauffe evap/bulbe_det

$$T_{10} = T_o + 5 \text{ °C}$$

$$T_{10} = (- 10) + 5 = - 5 \text{ °C}$$

La surchauffe des vapeurs dans la ligne d'aspiration

Les vapeurs surchauffées sortant de l'évaporateur se dirigent vers le compresseur. Ces reçoivent de la chaleur du milieu extérieure. Donc, la température des vapeurs surchauffées augmente.

La surchauffe des vapeurs dans la ligne d'aspiration est généralement de : 10 °C .

Cette valeur correspond à une moyenne généralement relevée sur les installations dont la ligne d'aspiration est calorifugée.

La température au point 1 sera donc de :

Température entrée compresseur = Température sortie d'évaporateur + Surchauffe conduite aspiration

$$T_1 = T_{10} + 10 \text{ °C}$$

$$T_1 = (- 5) + 10 = + 5 \text{ °C}$$

Si on additionne la surchauffe fonctionnelle et la surchauffe de la ligne d'aspiration, on trouve la surchauffe totale de la machine frigorifique. (ici surchauffe totale = 15°C)

La compression

Pour simplifier, nous supposons la compresseur isentrope, c'est à dire que les vapeurs surchauffées suivent pendant la compression les courbes d'entropie. Le point 2 se situe à l'intersection de la courbe d'entropie et de l'isobare passant par + 35 °C qui correspond à la température de condensation Tk déterminée toute à l'heure.

La désurchauffe des vapeurs dans la tuyauterie de refoulement

Les vapeurs surchauffées sortant du compresseur se dirigent vers le condenseur et en contact avec le milieu extérieur les vapeurs subissent une désurchauffe. **Cette désurchauffe est importante puisque le refoulement n'est pas calorifugé.** Effectivement, avoir une désurchauffe importante dans le refoulement permet d'avoir une zone de désurchauffe dans le condenseur moins importante...

La température au point 3 est de :

$$T_3 = + 48 \text{ °C}$$

La condensation

Les vapeurs surchauffées entrent dans le condenseur qui se scinde en trois zones...

La zone de désurchauffe du point 3 vers le point 4

La zone de condensation du point 4 vers le point 5 (T_k).

($T_4 = T_5$ pour un fluide azéotrope et $T_4 > T_5$ pour un fluide zéotrope)

La zone de sous refroidissement condenseur du point 5 vers le point 6

Le sous refroidissement condenseur

La troisième zone du condenseur est la zone de sous refroidissement condenseur.

Le sous refroidissement condenseur peut être plus ou moins important et il est très utile au fonctionnement du système et permet d'alimenter le détendeur en 100% liquide.

Le sous refroidissement condenseur est généralement fixé à 5 °C.

Cette valeur permet en effet un fonctionnement correct pour la plus part des systèmes.

La température au point 6 sera donc de :

Température sortie condenseur = Température de condensation (T_k) – Sous refroidissement condenseur

$$T_6 = T_5 - 5 \text{ °C}$$

$$T_6 = (+ 35) - 5 = + 30 \text{ °C}$$

Le sous refroidissement dans la ligne liquide

Le liquide sortant du condenseur subit un refroidissement entre la sortie du condenseur et l'entrée du détendeur. **La ligne liquide n'est pas calorifugée car ce sous-refroidissement est bénéfique pour le système frigorifique.**

le sous refroidissement ligne liquide généralement relevé est de 5 °C.

La température au point 7 sera donc de :

Température entrée détendeur = Température sortie condenseur – Sous refroidissement ligne liquide

$$T_7 = T_6 - 5 \text{ °C} = 25 \text{ °C}$$

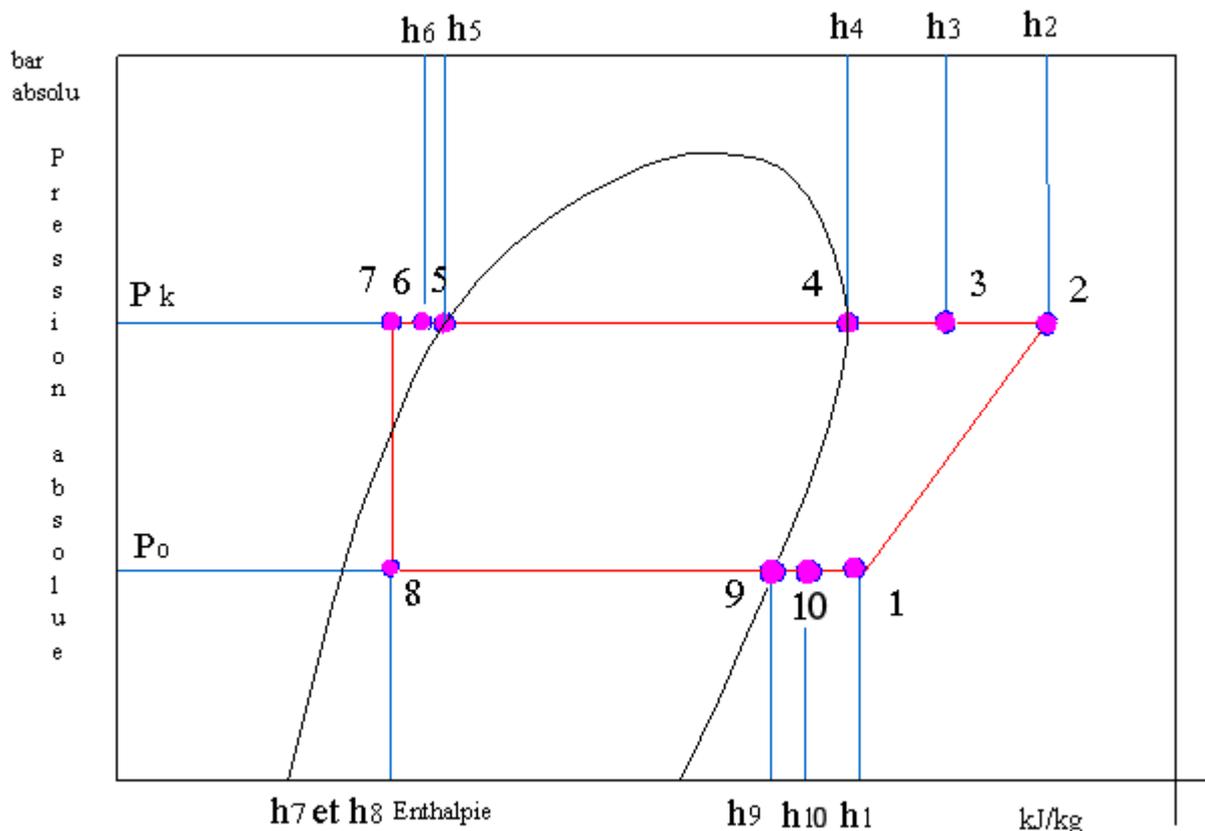
La détente

La détente est adiabatique. Donc, l'enthalpie du point 7 est égale à l'enthalpie du point 8. On parle aussi de détente isenthalpe.

La température au point 8 est de de :

$$T_8 = - 10 \text{ °C}$$

Maintenant, on peut déterminer les caractéristiques de tous les points :



Exploitation du cycle frigorifique : FORMULAIRE

Débit masse de fluide frigorigène en circulation

$$q_m = Q_o / \Delta H_{ev}$$

q_m = Débit masse de fluide frigorigène en circulation en kg / s

Q_o = Puissance frigorifique en kW

ΔH_{ev} = Variation d'enthalpie entre la sortie et l'entrée de l'évaporateur en kJ / kg

Volume de fluide aspiré par le compresseur

$$V_a = q_m \cdot v'' \cdot 3600$$

V_a = Volume de fluide aspiré par le compresseur en m³/ h

q_m = Débit masse de fluide frigorigène en circulation en kg / s

v'' = Volume massique entrée compresseur en m³/ kg

Taux de compression

$$t = P_{ref.} / P_{asp.}$$

t = Taux de compression

$P_{ref.}$ = Pression de refoulement en **bar absolu**

$P_{asp.}$ = Pression d'aspiration en **bar absolu**

Dans le cas où les pertes de charge sont négligeables, la formule devient :

$$t = P_k / P_o$$

t = Taux de compression

P_k = Pression de condensation en **bar absolu**

P_o = Pression d'évaporation en **bar absolu**

Rendement volumétrique

$$\eta_v = 1 - 0,05 \cdot t$$

η_v = Rendement volumétrique

t = Taux de compression

Volume de fluide balayé par le compresseur

$$V_b = V_a / \eta_v$$

V_b = Volume de fluide balayé par le compresseur en m³/ h

V_a = Volume de fluide aspiré par le compresseur en m³/ h

η_v = Rendement volumétrique

Puissance théorique du compresseur

$$P_{thCP} = q_m \cdot \Delta H_{cp}$$

P_{thCP} = Puissance théorique du compresseur en kW

q_m = Débit masse de fluide frigorigène en circulation en kg / s

ΔH_{cp} = Variation d'enthalpie entre la sortie et l'entrée du compresseur en kJ / kg

Puissance à fournir sur l'arbre du compresseur

$$P_f = P_{thCP} / (\eta_i \cdot \eta_m)$$

P_f = Puissance à fournir sur l'arbre du compresseur en kW
 P_{thCP} = Puissance théorique du compresseur en kW
 η_i Rendement indiqué (égal au rendement volumétrique)
 η_m Rendement mécanique

Puissance utile du moteur électrique

$$P_u = P_f / \eta_{tr}$$

P_u = Puissance utile du moteur électrique en kW
 P_f = Puissance à fournir sur l'arbre du compresseur en kW
 η_{tr} = Rendement de transmission
Arbre direct 1
Manchon d'accouplement 0,95
Accouplement par courroie 0,90 à 0,70

Puissance absorbée par le moteur électrique

$$P_a = P_u / \eta_{el}$$

P_a = Puissance absorbée par le moteur électrique en kW
 P_u = Puissance utile du moteur électrique en kW
 η_{el} = Rendement électrique

Puissance rejetée au condenseur

$$P_{cd} = \dot{q}_m \cdot \Delta H_{cd}$$

P_{cd} = Puissance rejetée au condenseur en kW
 \dot{q}_m = Débit masse de fluide frigorigène en circulation en kg / s
 ΔH_{cd} Variation d'enthalpie entre l'entrée et la sortie du condenseur en kJ / kg

Coefficient de performance frigorifique

$$COP_f = Q_o / P_a$$

COP_f = Coefficient de performance frigorifique
 Q_o = Puissance frigorifique en kW
 P_a = Puissance absorbée par le moteur électrique en kW

Coefficient de performance de Carnot

$$COP_{ct} = T_o / (T_k - T_o)$$

COP_{ct} = Coefficient de performance de Carnot
 T_o = Température d'évaporation en degré K
 T_k = Température de condensation en degré K

Rendement de l'installation

$$\eta = COP_f / COP_{ct}$$

η = Rendement de l'installation
 COP_f = Coefficient de performance frigorifique
 COP_{ct} = Coefficient de performance de Carnot

Exemple de calcul

Données extraites du CCTP

Fluide frigorigène : R 134a
Température d'évaporation : - 10°C
Température de condensation : + 35°C
Surchauffe fonctionnelle : 5°C
Surchauffe dans la ligne d'aspiration : 10°C
Température du fluide à l'entrée du condenseur : + 40°C
Température du fluide à la sortie du condenseur : + 30°C
Sous refroidissement dans la ligne liquide : 5°C
Compression isentropique
Puissance frigorifique : 10 kW
Rendement indiqué : 0.80
Rendement mécanique : 0.85
Rendement de transmission : 0.90
Rendement électrique : 0.85

Énoncé

On vous demande de trouver les valeurs des paramètres suivants :

Débit masse de fluide frigorigène en circulation
Volume de fluide aspiré par le compresseur
Volume de fluide balayé par le compresseur
Puissance théorique du compresseur
Puissance à fournir sur l'arbre du compresseur
Puissance utile du moteur électrique
Puissance absorbée par le moteur électrique
Puissance rejetée au condenseur
Coefficient de performance frigorifique
Coefficient de performance de Carnot
Rendement de l'installation

Résolution

Tracé du cycle frigorifique

Puis construction du tableau de relevés :

Points	P bar ABS	T °C	H kJ/kg	v " m³/kg
1	2,007	+ 5	404,45	0,1064
2	8,868	+ 54,65	437,66	
3	8,868	+ 40	421,56	
4	8,868	+ 35		
5	8,868	+ 35		
6	8,868	+ 30	241,47	
7	8,868	+25	234,32	
8	2,007	-10	234,32	
9	2,007	-10		
10	2,007	- 5	395,69	

Le débit masse de fluide frigorigène en circulation :

$$q_m = Q_o / \Delta H_{ev}$$

$$q_m = 10 / (395,69 - 234,32)$$

$$q_m = 0,062 \text{ kg / s}$$

Le volume de fluide aspiré par le compresseur :

$$V_a = q_m \cdot v'' \cdot 3600$$

$$V_a = 0,062 \cdot 0,1064 \cdot 3600$$

$$V_a = 23,74 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le volume de fluide balayé par le compresseur

$$t = P_k / P_o$$

$$t = 3,86$$

$$\eta_v = 1 - 0,05t$$

$$\eta_v = 1 - 0,05 \cdot 3,86 = 0,806$$

$$V_b = V_a / \eta_v$$

$$V_b = 22,64 / 0,806$$

$$V_b = 28,07 \text{ m}^3/\text{h}$$

La puissance théorique du compresseur :

$$P_{thCP} = q_m \cdot \Delta H_{cp}$$

$$P_{thCP} = 0,079 (437,66 - 404,45)$$

$$P_{thCP} = 2,03 \text{ kW}$$

La puissance à fournir sur l'arbre du compresseur :

$$P_f = P_{thCP} / (\eta_i \cdot \eta_m)$$

$$P_f = 2,03 / (0,80 \cdot 0,85)$$

$$P_f = 2,98 \text{ kW}$$

La puissance utile du moteur électrique :

$$P_u = P_f / \eta_{tr}$$

$$P_u = 2,98 / 0,90$$

$$P_u = 3,31 \text{ kW}$$

La puissance absorbée par le moteur électrique :

$$P_a = P_u / \eta_{el}$$

$$P_a = 3,31 / 0,85$$

$$P_a = 3,89 \text{ kW}$$

La puissance rejeté au condenseur :

$$P_{cd} = q_m \cdot \Delta H_{cd}$$

$$P_{cd} = 0,079 \cdot (421,56 - 241,47)$$

$$P_{cd} = 11,11 \text{ kW}$$

Le coefficient de performance frigorifique :

$$COP_f = Q_o / P_a$$

$$COP_f = 10 / 3,89$$

$$COP_f = 2,56$$

Le coefficient de performance de Carnot :

$$COP_{ct} = T_o / (T_k - T_o)$$

$$COP_{ct} = 263 / (308 - 263)$$

$$COP_{ct} = 5,84$$

Le rendement de l'installation :

$$\eta = COP_f / COP_{ct}$$

$$\eta = 2,56 / 5,84$$

$$\eta = 0,438$$

FIN DU RESUME DIAGRAMME ENTHALPIQUE ET FORMULAIRE