



L3 Energétique

2022/2023

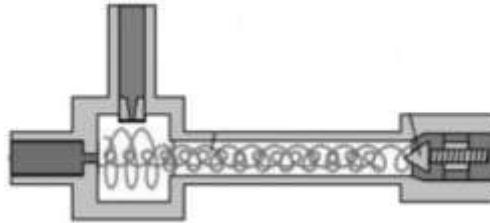
Durée : 1h 30 mn

Matière : Machines Frigorifiques et Pompes à Chaleur

Examen

Question de cours : (3 points)

Que représente le schéma ci-dessous, indiquer les entrées et sorties, décrire le fonctionnement.



Exercice 1 : (8 points)

Une installation frigorifique bi-étagée à injection totale, permet à l'évaporateur d'être maintenue à -15°C (1,64 bar) et le condenseur est à 60°C (16,79 bar), voir la Figure 1, la surchauffe après l'évaporateur est de 10°C , et le sous refroidissement après le condenseur est de 5°C ; la puissance frigorifique de l'évaporateur est de 8 kW, le rendement isentropique du compresseur 1 est de 0,88 et celui du compresseur 2 est de 0,86 ; le fluide frigorigène utilisé dans le circuit est le R134a.

- Représenter le cycle dans un diagramme (p, h).
- Calculer les débits des circuits inférieur et supérieur, Faire le bilan des puissances.
- Calculer le COP de l'installation et les volumes horaires balayés par les compresseurs.
- On veut imposer à la sortie du détendeur au point 6 un titre de 0,25, que préconisez-vous.

Exercice 2 : (9 points)

On envisage un système de réfrigération en cascade à deux étages fonctionnants, comme indiqué dans la Figure 2, l'échangeur entre les deux circuits est considéré comme adiabatique. Dans le circuit inférieur circule le R290 et évolue entre -40 (1,10bar) et 10°C (6,34bar), le rendement isentropique du compresseur est de 0,87. Dans le circuit supérieur circule le R134a et évolue entre 0 (2,92bar) et 40°C (10,17bar), le rendement isentropique du compresseur est de 0,88 ; le rendement mécanique des deux compresseurs est de 0,92.

Dans les deux cycles, le liquide à la sortie du condenseur est sous refroidi de 5°C , et la vapeur à l'entrée du compresseur est surchauffée de 10°C . Le débit du fluide du cycle inférieure est de $0,15 \text{ kg/s}$. après la mise en marche on relève les paramètres des 8 points, dressés dans le tableau suivant :

Données	1	2r	3	4	5r	6	7	8
h (kJ/kg)	543	640	212	212	407	437	249	249
v (m ³ /kg)	0,40	0,08	-	-	0,07	0,02	-	-

- Calculer le débit du circuit supérieur, Calculer les puissances de l'évaporateur et du condenseur.
- Calculer le travail effectif des deux compresseurs, Calculer le COP de l'installation.
- Calculer les volumes horaires refoulés par les compresseurs.
- On souffle de l'air à une température de 30°C avec un débit de $12.000\text{m}^3/\text{h}$ pour refroidir le condenseur, déterminer la température de sortie de l'air du condenseur.

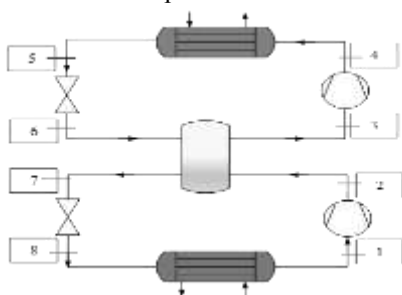


Figure 1

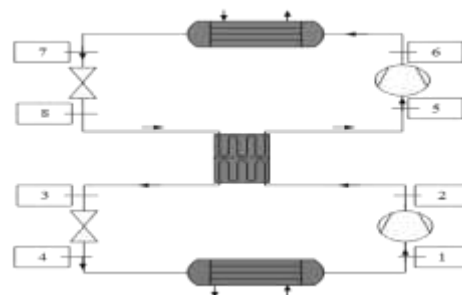


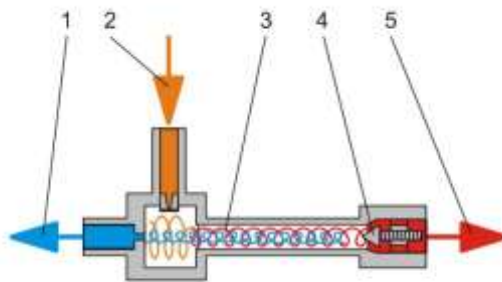
Figure 2

Question de cours : (3 points)

Générateur de froid à vortex (1 point)

Dans le tube à vortex, de l'air comprimé tangential entrant est mis en rotation très rapide. Suite à cela, des écoulements d'air froid et chaud se produisent dans le tube à vortex, qui quittent le tube à vortex à l'autre extrémité du tube, une vis permet de régler les débits sortants. (1 point)

1. Sortie d'air froid (0,5 point)
2. Entrée de l'air comprimé (0,25 point)
3. Vortex dans le tube
4. Réglage de sortie
5. Sortie d'air chaud (0,25 point)



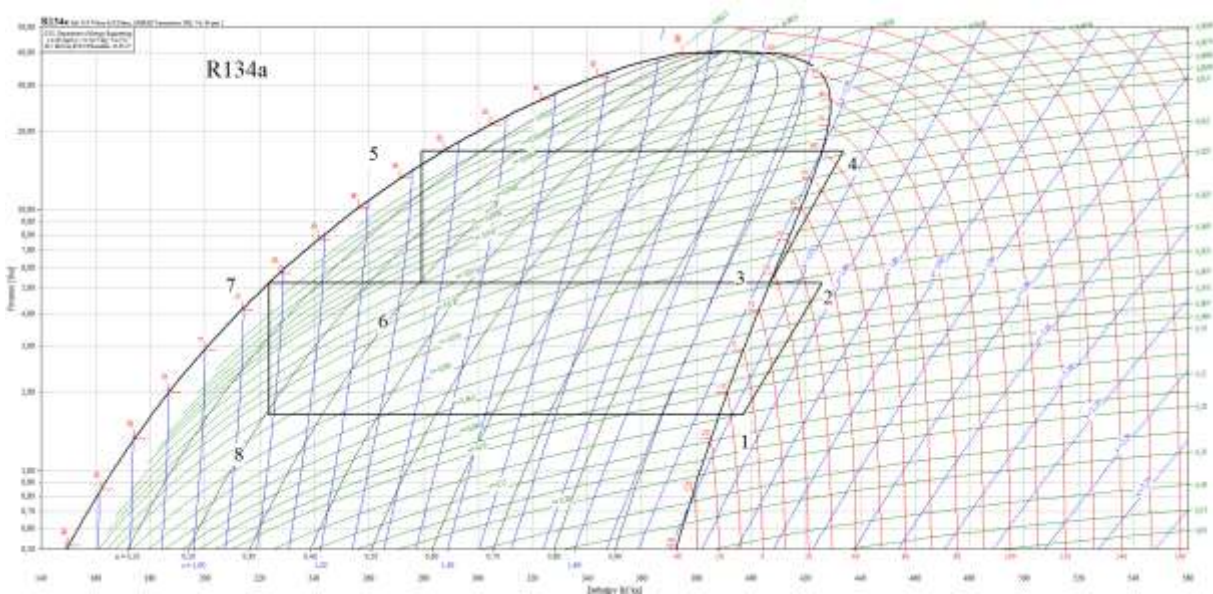
Exercice 1 : (8 points)

a) représentation du cycle

On calcule la pression intermédiaire (1 point)

$$P_I = \sqrt{P_F \cdot P_C} = \sqrt{1,64 \cdot 16,79} = 5,25 \text{ bar}$$

Le diagramme (1 point)



b) Calculer les débits des circuits inférieur et supérieur, Faire le bilan des puissances

Les paramètres des points de 1 à 8 : **(0,5 point)**

Données	1	2r	3	4r	5	6	7	8
h (kJ/kg)	397	425	407	434	279	279	223	223
v (m ³ /kg)	0,125		0,039					

Les formules **(0,5 point)**

L'enthalpie réelle sortie compresseur circuit inférieur

$$h_{2r} = h_1 + \frac{h_{2is} - h_1}{\eta_{is}}$$

L'enthalpie réelle sortie compresseur circuit supérieur

$$h_{4r} = h_3 + \frac{h_{4is} - h_3}{\eta_{is}}$$

Calcul du débit massique du circuit inférieur (0,5 point)

$$\dot{m}_r = \frac{\dot{Q}_F}{(h_1 - h_8)} = \frac{8}{(397 - 223)} = 46.10^{-3} \text{ kg/s}$$

Calcul du débit du circuit supérieur (0,5 point)

On fait le bilan des entrées et des sorties au niveau de la bouteille intermédiaire.

$$\dot{m}_i h_{2r} - \dot{m}_s h_3 + \dot{m}_s h_6 - \dot{m}_i h_7 = 0$$

L'équation de vient

$$\dot{m}_i (h_{2r} - h_7) = \dot{m}_s (h_3 - h_6)$$

D'où

$$\dot{m}_s = \dot{m}_i \frac{(h_{2r} - h_7)}{(h_3 - h_6)} = 46.10^{-3} \frac{(425 - 223)}{(407 - 279)} = 73.10^{-3} \text{ kg/s}$$

Le bilan des puissances

L'évaporateur

$$\dot{Q}_F = \dot{m}_i (h_1 - h_8) = 46.10^{-3} (397 - 223) = 8 \text{ kW}$$

Le condenseur **(0,5 point)**

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_s (h_{4r} - h_5) = 73.10^{-3} (434 - 279) = 11,3 \text{ kW}$$

Le compresseur du circuit inférieur **(0,5 point)**

$$\dot{W}_{inf} = \dot{m}_i (h_{2r} - h_1) = 46.10^{-3} (425 - 397) = 1,3 \text{ kW}$$

Le compresseur du circuit supérieur **(0,5 point)**

$$\dot{W}_{sup} = \dot{m}_s (h_{4r} - h_3) = 73.10^{-3} (434 - 407) = 2,0 \text{ kW}$$

c) Calculer le COP de l'installation et les volumes horaires balayés par les compresseurs

Le coefficient de performance de la machine frigorifique. (0,5 point)

$$COP_r = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{W}_{inf} + \dot{W}_{sup}} = \frac{8}{1,3 + 2,0} = 2,42$$

Calcul des volumes horaire balayés par les compresseurs

On calcule les rendements volumiques

$$\eta_{vol} = 1 - 0,05 \frac{P_I}{P_F} = 1 - 0,05 \frac{P_C}{P_I}$$

$$\eta_{vol} = 1 - 0,05 \frac{5,25}{1,64} = 1 - 0,05 \frac{16,79}{5,25} = 0,84$$

Ce rendement volumique est égal à

$$\eta_{vol} = \frac{\dot{V}_{asp}}{\dot{V}_{bal}}$$

Le volume aspirée par le compresseur 1 est :

$$\dot{V}_{asp} = v_1 \cdot \dot{m}_i = 0,12546 \cdot 10^{-3} = 5,75 \cdot 10^{-3} m^3/s$$

Le débit du volume balayée par heure par le compresseur 1 est : **(0,5 point)**

$$\dot{V}_{bal} = 3600 \frac{\dot{V}_{asp}}{\eta_{vol}} = 3600 \frac{5,75 \cdot 10^{-3}}{0,84} = 25 m^3/h$$

Le volume aspirée par le compresseur 2 est :

$$\dot{V}_{asp} = v_3 \cdot \dot{m}_s = 0,03973 \cdot 10^{-3} = 2,85 \cdot 10^{-3} m^3/s$$

Le débit du volume balayée par heure par le compresseur 2 est : **(0,5 point)**

$$\dot{V}_{bal} = 3600 \frac{\dot{V}_{asp}}{\eta_{vol}} = 3600 \frac{2,85 \cdot 10^{-3}}{0,84} = 12 m^3/h$$

d) le titre à 0,25

Pour obtenir un titre de 0,25 à la sortie du détendeur au point 6, on applique un sous refroidissement de 10 °C. **(1 point)**

Exercice 2 : (9 points)

a) Calcul du débit du circuit supérieur et calcul des puissances

Calcul du débit du circuit supérieur (1 point)

On fait le bilan des entrées et des sorties au niveau de l'échangeur de l'évapo-condenseur.

$$\dot{m}_i h_{2r} - \dot{m}_s h_5 + \dot{m}_s h_8 - \dot{m}_i h_3 = 0$$

L'équation de vient

$$\dot{m}_i (h_{2r} - h_3) = \dot{m}_s (h_5 - h_8)$$

D'où

$$\dot{m}_s = \dot{m}_i \frac{(h_{2r} - h_3)}{(h_5 - h_8)} = 0,15 \frac{(640 - 212)}{(407 - 249)} = 0,41 kg/s$$

Calcul des puissances

L'évaporateur **(1 point)**

$$\dot{Q}_F = \dot{m}_i (h_1 - h_4) = 0,15 (543 - 212) = 49,7 kW$$

Le condenseur **(1 point)**

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_s (h_{6r} - h_7) = 0,41 (437 - 249) = 77 kW$$

b) le travail effectif des compresseurs et le COP

Le travail effectif du compresseur 1 (1 point)

On calcule le rendement indiqué

$$\eta_i = \eta_{vol} = 1 - 0,05 \frac{P_C}{P_F} = 1 - 0,05 \frac{6,34}{1,10} = 0,71$$

On calcule le rendement effectif

$$\eta_{eff} = \eta_m \eta_i = 0,92 \cdot 0,71 = 0,65$$

Le travail réel du compresseur 1

$$\dot{W}_{inf} = \dot{m}_i (h_{2r} - h_1) = 0,15(640 - 543) = 14,5 kW$$

Le travail effectif du compresseur 1

$$\dot{W}_{eff1} = \frac{\dot{W}_{inf}}{\eta_{eff}} = \frac{14,5}{0,65} = 22,31 kW$$

Le travail effectif du compresseur 2 (1 point)

On calcule le rendement indiqué

$$\eta_i = \eta_{vol} = 1 - 0,05 \frac{P_C}{P_F} = 1 - 0,05 \frac{10,17}{2,92} = 0,83$$

On calcule le rendement effectif

$$\eta_{eff} = \eta_m \eta_i = 0,92 \cdot 0,83 = 0,76$$

Le travail réel du compresseur 2

$$\dot{W}_{sup} = \dot{m}_s (h_{6r} - h_5) = 0,41(437 - 407) = 12,3 kW$$

Le travail effectif du compresseur 2

$$\dot{W}_{eff2} = \frac{\dot{W}_{inf}}{\eta_{eff}} = \frac{12,3}{0,76} = 16,18 kW$$

Le coefficient de performance de l'installation (1 point)

$$COP_r = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{W}_{eff1} + \dot{W}_{eff2}} = \frac{49,7}{22,31 + 16,18} = 1,29$$

c) les volumes horaires refoulés par les compresseurs

Le compresseur du circuit inférieur

$$\dot{q}_v = \dot{m}_i \cdot v_{2r} = 0,15 \cdot 0,08 = 0,012 m^3/s = 43 m^3/h \text{ (1 point)}$$

Le compresseur du circuit supérieur

$$\dot{q}_v = \dot{m}_s \cdot v_{6r} = 0,41 \cdot 0,02 = 0,0082 m^3/s = 29,5 m^3/h \text{ (1 point)}$$

d) calcul de la température de sortie de l'air (1 point)

$$\begin{aligned} \dot{Q}_C &= \rho \dot{V} c_p (T_s - T_e) \\ T_s &= \frac{\dot{Q}_C}{\rho \dot{V} c_p} + T_e = \frac{77 \cdot 10^3 \cdot 3600}{1,3 \cdot 12000 \cdot 1005} + 30 = 48^\circ C \end{aligned}$$