



L3 Energétique

2023/2024

Durée : 1h 30 mn

Matière : Machines Frigorifiques et Pompes à Chaleur

### Examen de Rattrapage

#### Question de cours : (2 points)

Enumérer les types de détendeurs frigorifiques.

#### Exercice 1 : (8 points)

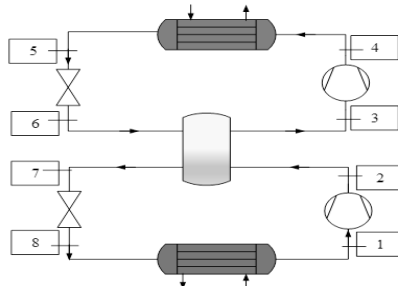
Une installation frigorifique fonctionne entre deux températures, l'évaporateur est à  $-5^{\circ}\text{C}$  (2,43bar) et le condenseur est à  $45^{\circ}\text{C}$  (11,62bar) ; la surchauffe est de  $10^{\circ}\text{C}$ , et le sous refroidissement est de  $5^{\circ}\text{C}$  ; la puissance du condenseur est de 5 kW, le rendement isentropique du compresseur est de 0,85, et le rendement mécanique est de 0,93. Le fluide frigorigène utilisé est le R 134a.

- Représenter le cycle dans un diagramme (p, h).
- Déterminer le débit massique circulant.
- Calculer le travail effectif du compresseur et la puissance de l'évaporateur.
- Calculer le COP de l'installation, le COP de Carnot, et le rendement.
- L'évaporateur est un échangeur R134a/eau, trouver la température de sortie, sachant que l'eau entrante a un débit de 0,12 kg/s et une température de  $18^{\circ}\text{C}$ .

#### Exercice 2 : (10 points)

Une installation frigorifique bi-étagée à injection totale, permet à l'évaporateur d'être maintenue à  $-20^{\circ}\text{C}$  (1,33 bar) et le condenseur est à  $40^{\circ}\text{C}$  (10,17 bar), un mélangeur-séparateur relie les deux circuits, voir la figure ci-dessous, la surchauffe après l'évaporateur est de  $10^{\circ}\text{C}$ , et le sous refroidissement après le condenseur est de  $5^{\circ}\text{C}$  ; la puissance frigorifique de l'évaporateur est de 5 kW, le rendement isentropique des deux compresseurs est de 0,86 ; le fluide frigorigène utilisé dans le circuit est le R134a.

- Représenter le cycle dans un diagramme (p, h).
- Présenter les paramètres (h, p, T, x, v) des points 1 à 8 dans un tableau.
- Calculer le débit massique du circuit inférieur et supérieur.
- Faire le bilan des puissances ; Calculer le COP de l'installation.
- Calculer les débits volumiques horaires balayés par les compresseurs.



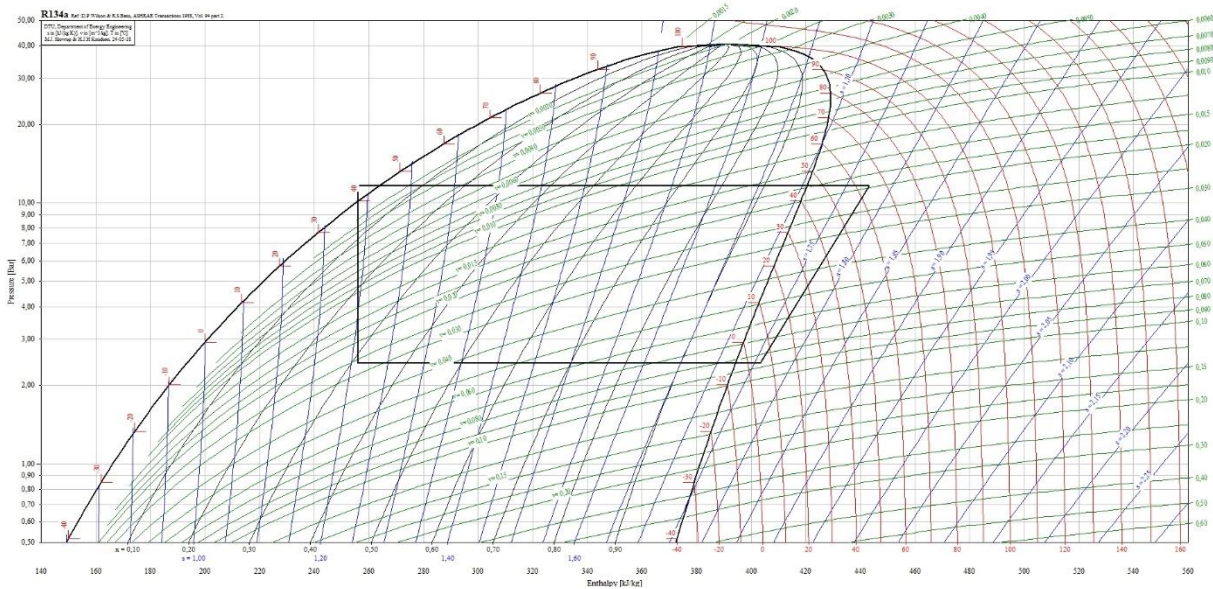
**Question de cours : (2 points)**

Enumérer les types de détendeurs frigorifiques.

- Détendeur capillaire
- Détendeur thermostatique
- Détendeur électronique

**Exercice 1 : (8 points)**

a) Le diagramme (p,h) (1 point)



Les données ont été relevées du diagramme : (1 point)

Données	$h_1$ (kJ/kg)	$h_{2is}$ (kJ/kg)	$h_{2r}$ (kJ/kg)	$h_3$ (kJ/kg)	$h_4$ (kJ/kg)
R134a	404	437	443	256	256

Les formules (1 point)

L'enthalpie réelle à la sortie du compresseur

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

b) Calcul du débit massique du réfrigérant

$$\dot{m}_r = \frac{\dot{Q}_c}{(h_{2r} - h_3)}$$

$$\dot{m}_r = \frac{5}{(443 - 256)} = 0,027 \text{ kg/s (0,5 point)}$$

c) Compresseur

Le travail réel

$$\dot{W}_r = \dot{m}_r (h_{2r} - h_1)$$

$$\dot{W}_r = 0,027 (443 - 404) = 1,05 \text{ kW (0,5 point)}$$

On calcule le rendement indiqué

$$\eta_i = \eta_v = 1 - 0,05 \frac{p_c}{p_F} = 1 - 0,05 \frac{11,62}{2,43} = 0,76 \text{ (0,5 point)}$$

Le travail effectif

$$\dot{W}_{eff} = \frac{\dot{W}_r}{\eta_i \eta_m} = \frac{1,05}{0,76 \cdot 0,93} = 1,49 kW \text{ (0,5 point)}$$

L'évaporateur

$$\dot{Q}_F = \dot{m}_r (h_1 - h_4)$$

$$\dot{Q}_F = 0,027(404 - 256) = 4 kW \text{ (0,5 point)}$$

d) Les COP

Le coefficient de performance réel.

$$COP_r = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{W}_{eff}} = \frac{4}{1,49} = 2,68 \text{ (0,5 point)}$$

Le coefficient de performance de Carnot.

$$COP_c = \frac{T_F}{T_C - T_F} = \frac{-5 + 273}{(45 + 273) - (-5 + 273)} = 5,36 \text{ (0,5 point)}$$

Le rendement de l'installation.

$$\varepsilon = \frac{COP_r}{COP_c} = \frac{2,68}{5,38} = 0,5 \text{ (0,5 point)}$$

e) La température de sortie de l'évaporateur

$$\dot{Q}_F = -\dot{m} c_p (T_s - T_e)$$

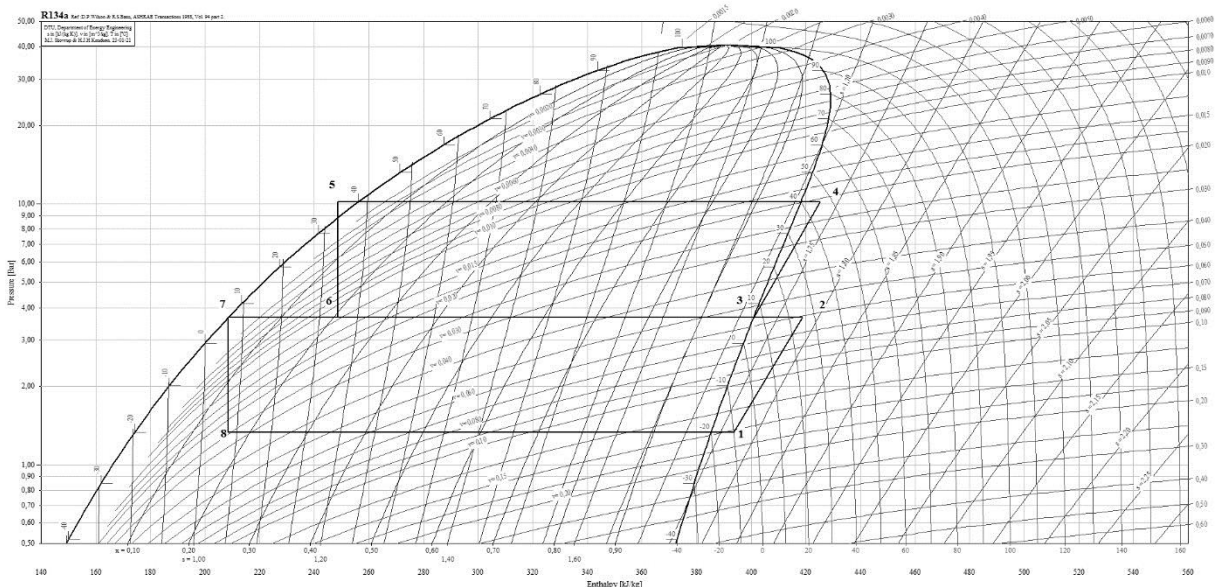
$$T_s = T_e - \frac{\dot{Q}_F}{\dot{m} c_p} = 18 - \frac{4 \cdot 10^3}{0,12 \cdot 4180} = 10^\circ C \text{ (1 point)}$$

## Exercice 2 : (10 points)

a) On calcule la pression intermédiaire

$$P_l = \sqrt{P_F \cdot P_C} = \sqrt{1,33 \cdot 10,17} = 3,68 bar \text{ (1 point)}$$

(1 point)



b) Les paramètres des points de 1 à 8 :

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

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

**(2 points)**

Données	1	2r	3	4r	5	6	7	8
$h$ (kJ/kg)	393	419	401	425	249	249	208	208
$P$ bar	1,33	3,68	3,68	10,17	10,17	3,68	3,68	1,33
$T$ (°C)	-10	25	6,5	46	35	6,5	6,5	-20
$x$ (-)	1	1	1	1	0	0,21	0	0,16
$v$ (m <sup>3</sup> /kg)	0,15	0,06	0,055	0,02	ND	0,016	ND	0,03

c) Calcul du débit massique du circuit inférieur

Les formules **(1 point)**

$$\dot{m}_{rinf} = \frac{\dot{Q}_F}{(h_1 - h_8)}$$

$$\dot{m}_{rinf} = \frac{5}{(393 - 208)} = 0,027 \text{ kg/h } \textbf{(0,5 point)}$$

Calcul du débit du circuit supérieur

$$\dot{m}_{rinf}(h_{2r} - h_7) = \dot{m}_{rsup}(h_3 - h_6)$$

D'où

$$\dot{m}_{rsup} = \dot{m}_{rinf} \frac{(h_{2r} - h_7)}{(h_3 - h_6)}$$

$$\dot{m}_{rsup} = 0,027 \frac{(419 - 208)}{(401 - 249)} = 0,037 \text{ kg/s } \textbf{(0,5 point)}$$

d) Le bilan des puissances

Les formules **(1 point)**

Le condenseur

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_{rsup}(h_{4r} - h_5)$$

$$\dot{Q}_C = 0,037(425 - 249) = 6,5 \text{ kW } \textbf{(0,25 point)}$$

L'évaporateur

$$\dot{Q}_F = \dot{m}_{rinf}(h_1 - h_8) = 5 \text{ kW}$$

Le compresseur du circuit inférieur

$$\dot{W}_{inf} = \dot{m}_{rinf}(h_{2r} - h_1)$$

$$\dot{W}_{inf} = 0,027(419 - 393) = 0,70 \text{ kW } \textbf{(0,25 point)}$$

Le compresseur du circuit supérieur

$$\dot{W}_{sup} = \dot{m}_{rsup}(h_{4r} - h_3)$$

$$\dot{W}_{sup} = 0,037(425 - 401) = 0,89 \text{ kW } \textbf{(0,25 point)}$$

Le coefficient de performance de la machine frigorifique.

$$COP_r = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{W}_{inf} + \dot{W}_{sup}}$$

$$COP_r = \frac{5}{0,70 + 0,89} = 3,14 \text{ (0,25 point)}$$

e) Calcul des débits volumiques horaires balayés par les compresseurs  
Les formules (0,5 point)

On calcule les rendements volumiques

Le compresseur du circuit inférieur

$$\eta_{vol} = 1 - 0,05 \frac{P_I}{P_F} = 1 - 0,05 \frac{3,68}{1,33} = 0,86$$

Le compresseur du circuit supérieur

$$\eta_{vol} = 1 - 0,05 \frac{P_C}{P_I} = 1 - 0,05 \frac{10,17}{3,68} = 0,86$$

Ce rendement volumique est égal à

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

Le volume aspirée est déterminé par

$$\dot{V}_{asp} = v \cdot \dot{m}_r$$

Le débit volumique horaire balayée par le compresseur inférieur :

$$\dot{V}_{bal} = 3600 \frac{v_1 \cdot \dot{m}_{rinf}}{\eta_{vol}} = 3600 \frac{0,15 \cdot 0,027}{0,86} = 17 m^3/h \text{ (0,5 point)}$$

Le débit volumique horaire balayée par le compresseur supérieur :

$$\dot{V}_{bal} = 3600 \frac{v_3 \cdot \dot{m}_{rsup}}{\eta_{vol}} = 3600 \frac{0,055 \cdot 0,037}{0,86} = 8,5 m^3/h \text{ (0,5 point)}$$