

Exercice 1 (13 points)

On considère une pompe à chaleur fonctionnant avec le fluide frigorigère R134a, selon le cycle suivant :

	Transformation
Compresseur	1-2 : compression adiabatique de vapeur sèche
Condenseur	2-3 : refroidissement isobare de vapeur 3-4: condensation totale,
Détendeur	4-5 : détente isenthalpique
Évaporateur	5-6 : évaporation totale, 6-1 : échauffement isobare de vapeur

Après quelques minutes de fonctionnement, on note les valeurs suivantes :

$P_1 = 3.5$ bars (évaporateur), $P_2 = 8$ bars (condenseur)

Température à l'entrée du compresseur : $T_1 = 10$ °C

Température à la sortie du compresseur : $T_2 = 40$ °C

1- Compléter le tableau ci-dessous :

	1 vapeur sèche	2 vapeur sèche	4 liquide saturant	5 vapeur humide
P (bars)				
T(°C)				
h (kJ/kg)				

2- Tracer le cycle 1-2-4-5-1 dans le diagramme (P,h)

3- Démontrer la relation : $e = (h_2 - h_4)/(h_2 - h_1)$

4- Calculer l'efficacité e à partir du cycle tracé dans le diagramme (P,h)

5- Sachant que les sources chaude et froide sont constituées de récipients contenant la même masse M d'eau.

Q_f = Quantité de chaleur soutirée à la source froide : $Q_f = Mc_{\text{eau}}(T_0 - T_f) > 0$

Q_c = Quantité de chaleur cédée à la source chaude : $Q_c = Mc_{\text{eau}}(T_0 - T_c) < 0$

T_0 = température initiale des 2 sources (à l'instant $t=0$)

T_c, T_f = températures des sources chaude et froide à l'instant t

Calculer l'efficacité e de la pompe pour $T_0 = 19.5$ °C, $T_c = 30$ °C, $T_f = 10$ °C

Exercice 2 (7 points)

Soit un calorimètre adiabatique de capacité calorifique $\mu = 100$ J.K⁻¹ et contenant une masse m_1 d'eau à température t_1 .

On y plonge un solide de masse m_2 à température t_2 . On relève la température d'équilibre final t_f .

- En utilisant le principe de conservation de l'énergie, déterminer la chaleur massique c du solide en fonction de t_f, t_1, t_2 .

- Compléter les tableaux ci-dessous : calcul des chaleurs massiques des solides, des erreurs relatives et des capacités calorifiques molaires C du lait, de l'acier et de l'aluminium.

Rappel : $C = Mc$ (C = capacité calorifique molaire, M = masse molaire)

On donne : chaleur massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4185$ J.kg⁻¹.K⁻¹

	Masse d'eau froide m_1 (g)	Température d'eau froide t_1 (°C)	Masse du solide m_2 (g)	Température du solide t_2 (°C)	Température finale t_f (°C)	Chaleur massique c_{exp} (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
Laiton	70	20	60	95	24	$c_{\text{laiton}} =$
Al	70	20	60	95	29	$c_{\text{Al}} =$
Acier	70	20	60	95	25	$C_{\text{Acier}} =$

	Masse molaire M (g/mol)	Chaleur massique théorique c_{th} (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	Chaleur massique c_{exp} (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	Erreur relative $ c_{\text{exp}} - c_{\text{th}} / c_{\text{th}}$	Capacité calorifique molaire $C = Mc_{\text{exp}}$ (J.mol ⁻¹ .K ⁻¹)
Laiton	64	387			
Al	27	897			
Acier	56	440			

Solution Ex2 (7 points)

D'après le principe de conservation de l'énergie : $Q_1 + Q_2 = 0$

$$(\mu + m_1 c_{\text{eau}})(t_f - t_1) + m_2 c_{\text{Al}}(t_f - t_2) = 0 \rightarrow c_{\text{Al}} = (\mu + m_1 c_{\text{eau}})(t_f - t_1) / m_2 (-t_f + t_2) \quad (1)$$

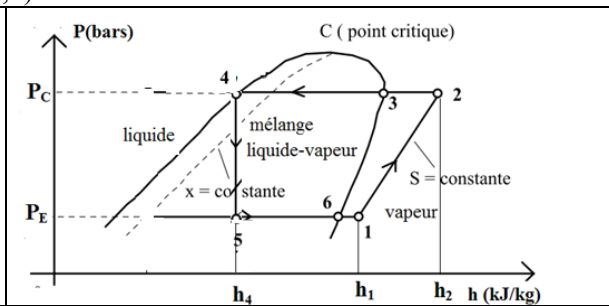
	Masse d'eau froide m_1 (g)	Température d'eau froide t_1 (°C)	Masse de l'éprouvette métallique m_2 (g)	Température de l'éprouvette t_2 (°C)	Température finale t_f (°C)	Chaleur massique c (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	
Laiton	70	20	60	95	24	$c_{\text{laiton}} = 369$	(1)
Al	70	20	60	95	29	$c_{\text{Al}} = 893$	(1)
Acier	70	20	60	95	25	$C_{\text{Acier}} = 468$	(1)

	Masse molaire M (g/mol)	Chaleur massique théorique c_{th} (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	Chaleur massique expérimentale c_{exp} (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	Erreur relative $ c_{\text{exp}} - c_{\text{th}} / c_{\text{th}}$	Capacité calorifique molaire $C = M c_{\text{exp}}$ (J.mol ⁻¹ .K ⁻¹)	
Laiton	64	387	369	4.6 %	23.6	(1)
Al	27	897	893	0.45 %	24.1	(1)
Acier	56	440	468	6.4 %	26.2	(1)

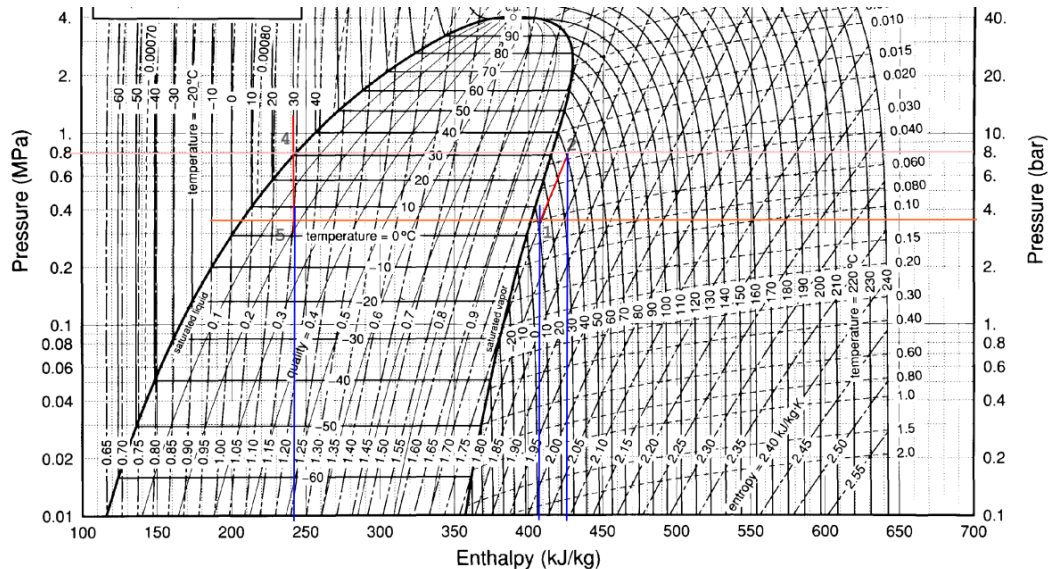
Solution Ex1 (13 pts)

2. Calcul de l'efficacité e à partir du diagramme (P,h)

- Montrer que $e = (h_2 - h_4) / (h_2 - h_1)$
 $e = -Q_c / W$ avec $Q_c = h_4 - h_2$
 et $W = -Q_c - Q_f = -(h_4 - h_2 + h_1 - h_5) = h_2 - h_1$
 (car $h_4 = h_5$)
 D'où $e = (h_2 - h_4) / (h_2 - h_1)$ (1)



	1 vapeur sèche	2 vapeur sèche	4 liquide saturé	5 vapeur humide	
P (bars)	3.5	8	8	3.5	(1)
T(°C)	10	40	31	5	(1)
h (kJ/kg)	409	425	244	244	(1)



Cycle → 5 points

$$e = (h_2 - h_4) / (h_2 - h_1) = (425 - 244) / (425 - 409) = 11.3 \quad (1)$$

$$e_{\text{carnot}} = T_c / (T_c - T_f) = (30 + 273.15) / (30 - 10) = 15 \quad (\text{On vérifie : } e < e_{\text{carnot}})$$

3. Calcul de l'efficacité e à partir des chaleurs Q_c et Q_f :

Si on peut considérer que les chaleurs échangées par le fluide sont égales à celles échangées par l'eau introduite dans les réservoirs : $Q_c = M c_{\text{eau}}(T_0 - T_c) < 0$ et $Q_f = M c_{\text{eau}}(T_0 - T_f) > 0$

$$\text{En déduire l'efficacité de la pompe : } e = Q_c / (Q_c + Q_f) = (T_0 - T_c) / (2T_0 - T_c - T_f) \quad (1.5)$$

$$\text{On donne : } T_0 = 19.5 \text{ °C, } T_c = 30 \text{ °C, } T_f = 10 \text{ °C} \rightarrow e = 10.5 \quad (1.5)$$