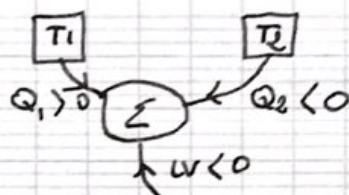


Machines Thermiques

①

Exercice 1.

Moteur diatherme



le travail fourni pendant Δt : $W = -P\Delta t$

le rendement : $\eta = \frac{|W|}{Q_1} = \alpha \eta_c = \alpha \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$

le transfert thermique $Q_1 = \frac{P\Delta t T_1}{\alpha(T_1 - T_2)}$

Premier principe pour un cycle $0 = W + Q_1 + Q_2$

D'où pendant Δt : $Q_2 = -\frac{P\Delta t (\alpha T_2 + (1-\alpha)T_1)}{(T_1 - T_2)\alpha}$

Q_2 est le transfert thermique cédé au fluide par le fonctionnement de la centrale durant Δt

or $Q_2 = -Q_{\text{fluide}} = -mC\Delta T$ (modèle du fluide)
 $\frac{P\Delta t (\alpha T_2 + (1-\alpha)T_1)}{(T_1 - T_2)\alpha} = D\Delta t \rho C\Delta T$

$$\Delta T = \frac{P}{D\rho C} \frac{\alpha T_2 + (1-\alpha)T_1}{\alpha(T_1 - T_2)} = 1,15 \text{ K}$$

Exercice 2

1. Evaluation des pertes thermiques

Système : la pièce

Transformation : $T \xrightarrow[\substack{V=cdt \\ P=cdt}]{}$ $T - dT$

1. Principe à $P_{ext} \rightarrow 0$: $dH = \delta Q$

Modèle $V=cdt$: $CdT = aC(T-T_0)dt$

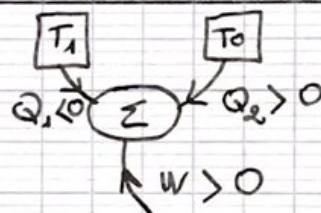
d'où $\frac{dT}{T-T_0} = a dt$

ainsi $a = -\frac{1}{\Delta t} \ln \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0} = -9,63 \cdot 10^{-5} s^{-1}$

2. Fonctionnement

Pompe à chaleur

Système : Σ le fluide



Fonctionnement cyclique Δt

on doit donc fournir $Q_1 = aC(T_1 - T_0)\Delta t = +Q_{pièce}$

Efficacité : $e_r = \frac{|Q_1|}{W} = x e_c = \frac{x T_1}{T_1 - T_0}$

d'où $P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{|a|C(T_1 - T_0)^2}{x T_1} = 830 W$

3. Cas d'un radiateur

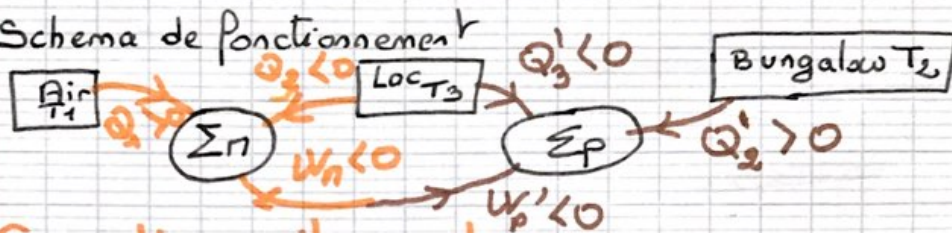
on a $e = 1$

$\Rightarrow P = \frac{W}{\Delta t} = |a|C(T_1 - T_0) = 9,63 kW$

(3)

Exercice 3

Schema de fonctionnement



Convention positive moteur

Convention positive pompe

Remarques $W_n = -W_p'$ et $Q_2 = -Q_2'$ Système: Σ_n

1^{er} principe $Q_1 + Q_3 + W_n = 0$

2^e Principe $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_3}{T_3} = 0$ (reversible)

Système: Σ_p

1^{er} principe $Q_2' + Q_3' + W_p' = 0$

2^e Principe $\frac{Q_2'}{T_2} + \frac{Q_3'}{T_3} = 0$ (reversible)

Efficacité $e = \frac{Q_2}{Q_1} = -\frac{Q_2'}{Q_1}$

avec $W_n = -W_p'$ on a $Q_1 + Q_3 = -(Q_2' + Q_3')$

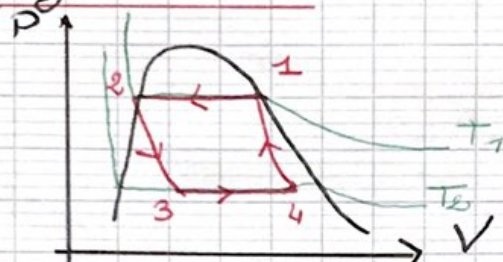
or $Q_3 = -\frac{T_3}{T_1} Q_1$

et $Q_3' = -\frac{T_3}{T_2} Q_2'$

Ainsi $Q_1 \left(1 - \frac{T_3}{T_1}\right) = -Q_2' \left(1 - \frac{T_3}{T_2}\right)$

$= Q_2 \left(1 - \frac{T_3}{T_2}\right)$

ainsi $e = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \frac{T_1 - T_3}{T_2 - T_3} = 2,95$

Exercice 4Système : le Fréon 1 unité de masseEquation d'état : Gaz GP $PV = nRT$
liquide $V = \text{cte}$ 1. Cycle de Carnot

Pour une pompe à chaleur $W > 0$ d'où le sens de parcours.

2. Les états en vapeur.Transformation 23 : adiabatique réversible $\Delta S = 0 \text{ J/K}$

$$\text{or } s_2 = s_L(T_1)$$

$$s_3 = x_3 s_V(T_2) + (1 - x_3) s_L(T_2)$$

$$\text{d'où } s_3 = s_2 \Leftrightarrow x_3 = \frac{s_L(T_1) - s_L(T_2)}{s_V(T_2) - s_L(T_2)} = 13,3\%$$

Transformation 41 : Adiabatique réversible $\Delta S = 0 \text{ J/K}$

$$\text{or } s_4 = x_4 s_V(T_2) + (1 - x_4) s_L(T_2)$$

$$s_1 = s_V(T_1)$$

$$\text{d'où } s_1 = s_4 \Leftrightarrow x_4 = \frac{s_V(T_1) - s_L(T_2)}{s_V(T_2) - s_L(T_2)} = 99\%$$

3. Les transferts thermiquesAu contact de la source chaude12 liquéfaction totale à P et T constants.

$$\begin{aligned} Q_1 &= \Delta H = h_L(T_1) - h_V(T_1) \\ &= -128,52 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Av. contact de la source froide

3.4 Vapourisation potentielle à T et P constants

$$Q_2 = \Delta H = (x_4 - x_3) [h_v(T_2) - h_l(T_2)]$$

$$= 120,67 \text{ kJ/kg}$$

Le travail

1 Principe pour un cycle $W + Q_1 + Q_2 = 0 \text{ J}$

$$W = -Q_1 - Q_2 = 7,85 \text{ kJ/kg}$$

Efficacité $e = \frac{|Q_1|}{W} = 16,4$

Efficacité de Carnot $e = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = 15,7$

Un écart de 5% dû à la précision du tableau.

6

Exercice 5

Système : l'air - 1 unité de masse

Equation d'état : $PV = nRT = RT/\pi$

Indication : $\Delta K = 0J$

1. Calcul de T_4

3 \rightarrow 4 : Compression adiabatique pour un gaz parfait

Loi de Laplace $PV^\gamma = \text{cst}$

Equation d'état $T P^{1-\gamma} = \text{cst}$

$$\text{d'où } T_4 = T_3 \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 357K$$

Le travail $W_{3 \rightarrow 4}$

1° principe système ouvert $\Delta h = w_{3 \rightarrow 4} + q_{3 \rightarrow 4}$

La transformation est adiabatique $q_{3 \rightarrow 4} = 0 J/kg$

2° loi de joule $w_{3 \rightarrow 4} = \Delta h = \frac{\gamma R}{\pi(\gamma-1)} (T_4 - T_3) = 64,2 kJ/kg$

Calcul de T_6 et $W_{5 \rightarrow 6}$

$$\text{De même } T_6 = T_5 \left(\frac{P_5}{P_6} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 220K$$

$$w_{5 \rightarrow 6} = \frac{\gamma R}{\pi(\gamma-1)} (T_6 - T_5) = -48,2 kJ/kg$$

Le travail reçu par l'installation

$$W = w_{3 \rightarrow 4} + w_{5 \rightarrow 6} = 16 kJ/kg$$

2. Le transfert thermique Q_c

2-3.

1° Principe système ouvert $\Delta h = w_{23} + q_c$

Pas de pièces mobiles $w_{23} = 0J$

2° loi de joule $Q_c = \Delta h = \frac{\gamma R}{\pi(\gamma-1)} (T_3 - T_2) = -64,2 kJ/kg$

7

Efficacité

$$e = \frac{-Q_c}{W} = \frac{T_4 - T_3}{T_4 - T_3 + T_6 - T_5} = 4$$

Efficacité de Carnot

$$e_c = \frac{T_c}{T_c - T_f} = 11,7$$

$e < e_c$ il y a un fonctionnement irréversible, certainement au moment des échanges thermiques.

Exercice 6

Système R171

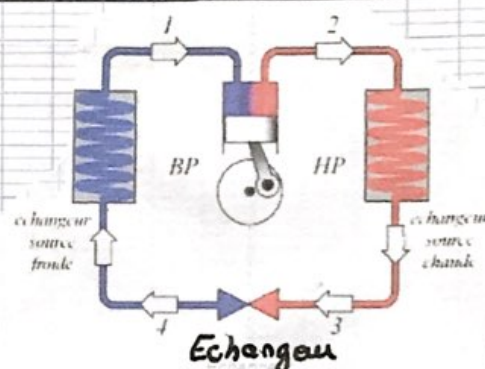
1. Schema et cycle

1-2 Isentropique

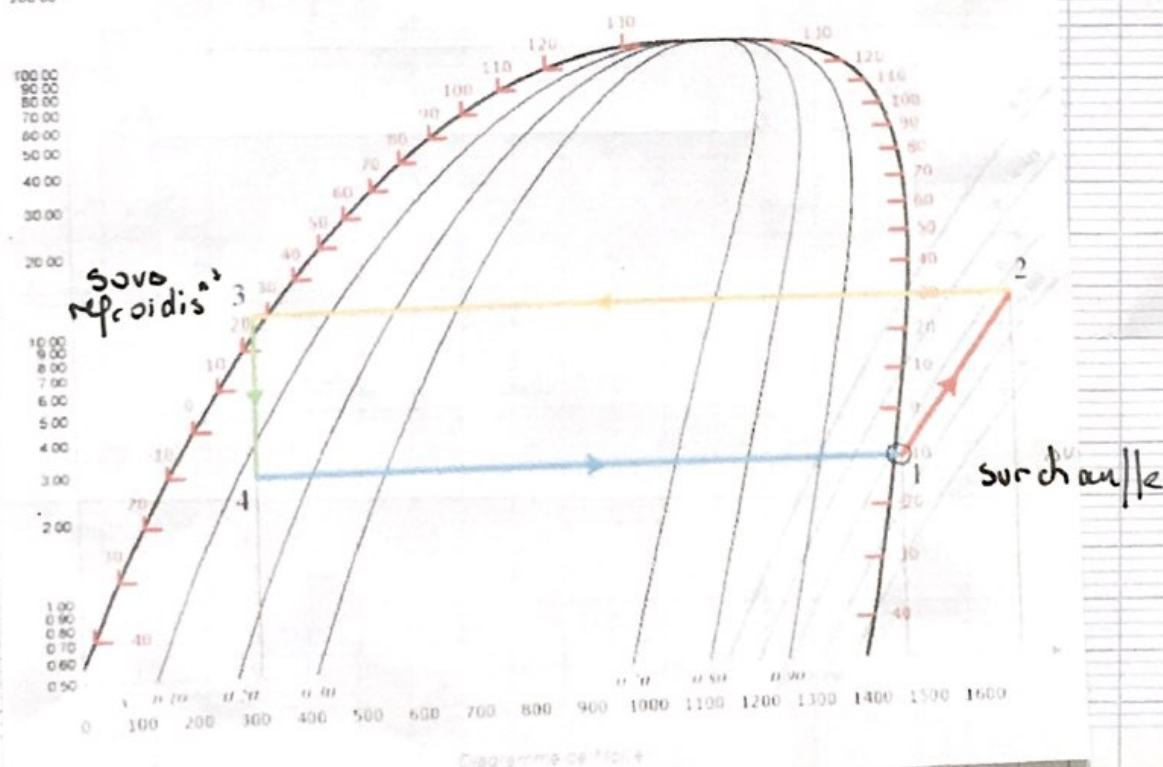
2-3 contact avec source chaude

3-4 Detente Joule Thomson $\Delta R=0$

4-1 Contact avec source froide



R717



2. Interêt

On augmente $\Delta P_{1 \rightarrow 4}$ donc la quantité de chaleur retirée à la source froide.

3. Les valeurs

	1	2	3	4
P (bar)	3	12	12	4
T (°C)	0		25	-10
R (kJ/kg)	1470	1660	320	320
α	1	1	0	0,13

4. Débit massique

Puissance frigorifique: $\dot{Q} = \frac{Q_F}{\Delta t}$

On est en contact avec la source froide de 1 à 4.

Premier principe système ouvert $\Delta H = Q_F + W_{au}$

Il n'y a pas de pièce mobile $W_{au} = 0 J$

$$\Delta H = m (h_1 - h_4) = \Delta t \dot{Q}$$

D'où $\dot{D}_m = \frac{m}{\Delta t} = \frac{\dot{Q}}{h_1 - h_4} = 87 \text{ g/s}$

Le compresseur, théorique

Transformation 1. 2

Premier principe système ouvert $\Delta H = Q + W_{au}$

Caractéristique $Q = 0$

$$W_c = \Delta H = m (h_2 - h_1)$$

$$P_c = \frac{W_c}{\Delta t} = \dot{D}_m (h_2 - h_1) = 16,5 \text{ kW}$$

Le compresseur réel

D'après les indications $P_{cr} = \frac{P_c}{\eta_i \eta_m}$

avec $\eta_i = 1 - 0,05 \frac{P_3}{P_1} = 0,80$

d'où $P_{CR} = 22,9 \text{ kW}$

le COP théorique $e_T = \frac{Q_R}{W_C} = 6,1$

le COR réel $e_R = \frac{P}{P_{CR}} = 4,4$

Efficacité de Carnot $e_C = \frac{T_F}{T_C - T_F} = 6,6$

5. Puissance évacuée

Transformation 2 \rightarrow 3

1° Principe système ouvert $\Delta H = Q_C + W_{aute}$

Pas de pièce mobile $W_{aute} = 0$

D'où $Q_C = \Delta H = m(h_3 - h_2)$

D'où la puissance évacuée

$$P_e = -\frac{Q_C}{\Delta t} = D_m(h_2 - h_3) = 116,6 \text{ kW}$$