

U S T O

INS. DE CHIMIE

DEPT GC

MT GC / GPetr.

EXAMEN DE THERMO.

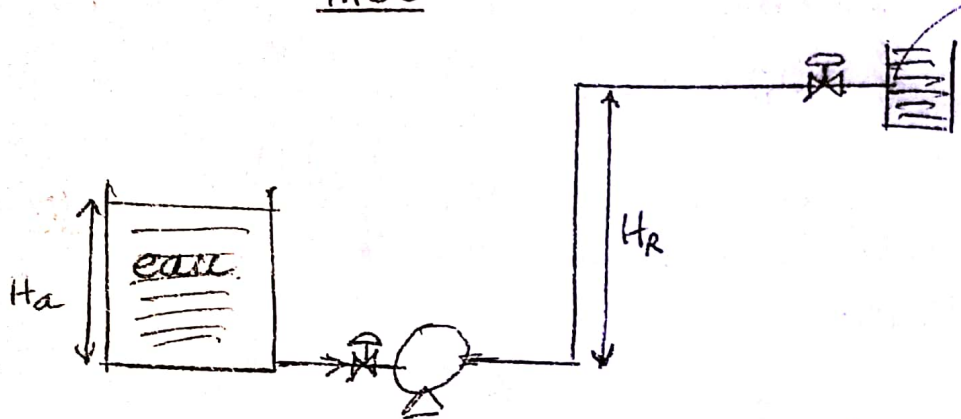
APPLIQUÉE

1h30

JAN 2025

EXERCICE N°1

(5pts)



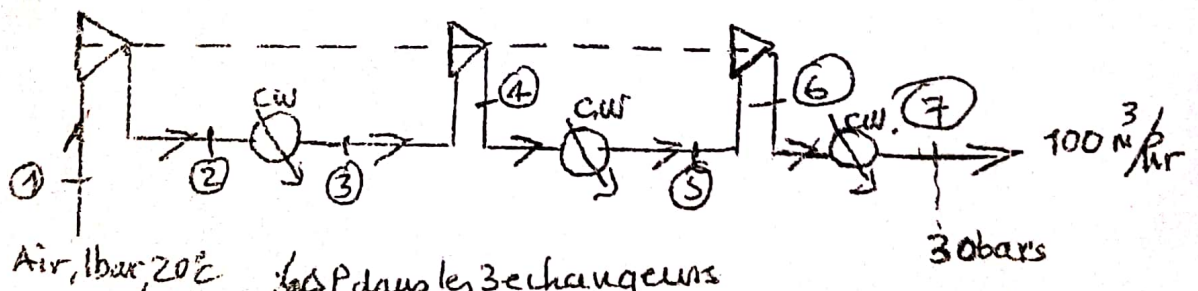
Données: $H_a = 5\text{ m}$; $H_R = 10\text{ m}$, Longueur de la ligne $L = 40\text{ m}$
Pression résiduelle = 3 bars.

Pertes de charge: $0,1\text{ m/m linéaire}$; $0,3\text{ m/singularité}$

Calculer la hauteur manométrique totale (HMT) de cette pompe.

EXERCICE N°2 (8pts)

Soit le compresseur isentropique centrifuge suivant:



Air, 1 bar, 20°C

Les P dans les 3 échangeurs

est égale à 2% de la pression à l'entrée de chaque échangeur

1. Calculer

- la pression et la température en chaque point du compresseur.

2. La puissance de ce compresseur.

EXERCICE N°3 (7pts)

Une turbine à vapeur est alimentée par $50 \text{ m}^3/\text{hr}$ de vapeur d'eau à 500°C et 40 bars qu'elle détend jusqu'à 400 mbars.

- Calculer la puissance développée par cette turbine.
 - Calculer le rendement de ce cycle.
- on donne:

$$\eta_{\text{turbine}} = \eta_{\text{pompe}} = 90\%$$

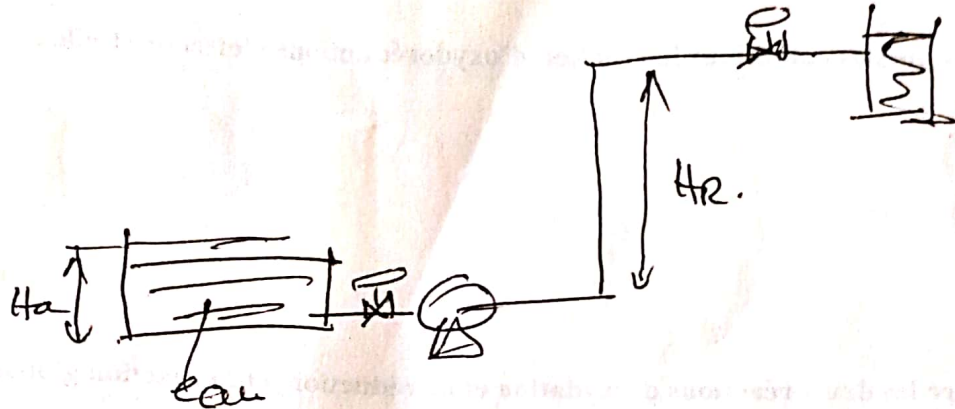
Corrigé Examen T. Appl.

M1 GC / G. Petro.

Jan 2025

①

Ex1



Calcul de la H.M.T

Equation generale : $HMT = H_a + H_R + J_T + P_{resid}$ (1pr)

Dans notre cas la pompe se trouve en dessous du liquide à pomper H_a est alors considérée négativement: donc

(1pr) $HMT = -H_a + H_R + J_T + Pres.$ (1) (J_T : pertes de charges totales)

où $H_a = 5m$, $H_R = 10m$, $L = 40m$, $P_{residuelle} = 3 bars$

alors $J_T = J_{linéaire} + J_{singuliers}$

$J_{singuliers}$: il y a 2 vannes, 2 coudes ~~= 4~~
1 étranglement, 1 élargissement

donc $J_{sing} = 6 \times 0,3 = 1,8m$

$J_{linéaire} = 40 \times 0,1 = 4m$

$J_T = 4 + 1,8 = 5,8m$
(1pr) (1pr)

alors $HMT = -5 + 10 + 5,8 + 30 \text{ (m)}$

$P_{si} = 3 \text{ bars} \equiv 30 \text{ m}$

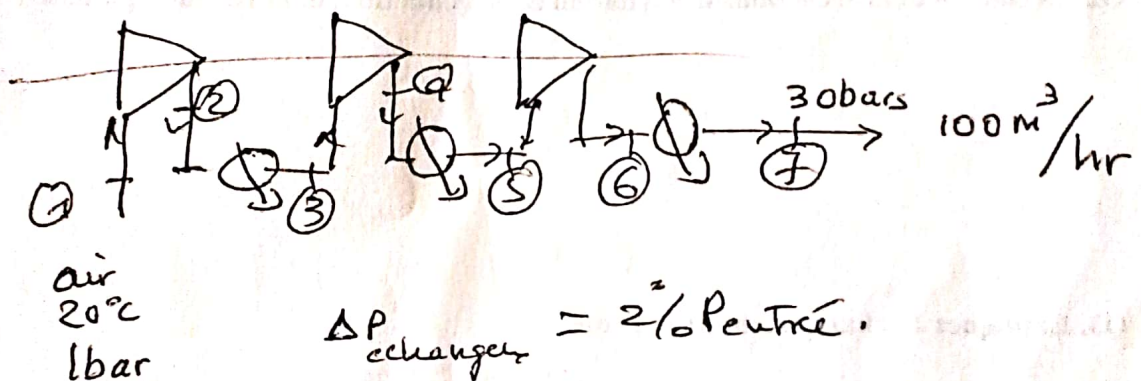
$HMT = 4,08 \text{ m}$

qui correspond à 4,08 bars

(2p5)

Ex 2

Système Compresseurs:



Calcul de T et P en chaque point:

calcul du taux de Compression:

$$\tau_c = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_4}{P_3} = \frac{P_6}{P_5} = \left(\frac{P_7}{P_1 (1-0,2)^3} \right)^{1/3}$$

$$\tau_c = \left(\frac{30}{1 (0,98)^3} \right)^{1/3} = 3,17065$$

(1)

point 2:

$$P_2 = P_1 \tau_c = 1 \times 3,17065 \Rightarrow P_2 = 3,17065 \text{ bar}$$

$$T_2 = T_1 (\tau_c)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 293 (3,17065)^{0,4/1,4} \Rightarrow T_2 = 407,43 \text{ K}$$

(3)

point (3)

$$P_3 = P_2 - 0,02 P_2 = P_2 \times 0,98 = \underline{3.107237 \text{ bar}}$$

(0,5)

$$T_3 = T_2 = \underline{293^\circ \text{K}}$$

point (4)

$$\frac{P_4}{P_3} = \tau_c = 3,17065 \Rightarrow P_4 = 3.107237 \times 3,17065$$

$$P_4 = \underline{9.851963 \text{ bar}} \quad (0,4)$$

$$T_4 = T_3 (\tau_c)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 293 (3,17065)^{\frac{0,4}{1,4}} = 407,43 = T_2$$

$$T_4 = \underline{407,43^\circ \text{K}}$$

point (5)

$$P_5 = P_4 - 0,02 P_4 = 0,98 (P_4) = 0,98 \times 9,851963$$

$$P_5 = \underline{9.655 \text{ bars}}$$

(0,5)

$$T_5 = T_3 = T_4 \Rightarrow T_5 = \underline{298^\circ \text{K}}$$

point (6):

$$P_6 = P_5 \cdot \tau_c = 9.655 \times 3,17065$$

$$P_6 = \underline{30.61263 \text{ bars}}$$

(0,5)

$$T_6 = T_5 (\tau_c)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \underline{407,43^\circ \text{K}} = T_4 = T_2 = T_6$$

f

point (7):

$$P_7 = P_6 \times 0,98 = 30.61263 \times 0,98$$

$$P_7 = \underline{30 \text{ bars}}$$

$$; T_7 = T_1 = \underline{293^\circ \text{K}}$$

Calcul de la puissance du Compresseur

les 3 Compresseurs ayant même Température d'entrée
et même taux de Compression :

$$W_{C1} = W_{C2} = W_{C3} \Rightarrow W_{\text{total}} = 3W_{C1} = 3W_{C2} = 3W_{C3}$$

$$\text{Puissance} = Q_{m \cdot} W_{\text{total}}$$

$$P = 3 Q_{m \cdot} W_{C1}$$

$$W_{C1} = \frac{\gamma R T_1}{(\gamma - 1) M} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right]$$

$$\Rightarrow P = 3 \cdot \frac{P_2 \cdot \eta}{R T_2} \cdot Q_{v2} \cdot \frac{\gamma R T_1}{(\gamma - 1) M} \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right] = 3 \cdot P_2 \cdot \frac{\gamma}{(\gamma - 1) \eta} \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right] = 341,7 \cdot 10^3 \text{ W} = 341,7 \text{ kW}$$

$$Q_{m \cdot} = S_1 Q_{v1} = S_2 Q_{v2} = S_3 Q_{v3} = \dots = S_7 Q_{v7}$$

Connu

$$\text{donc } Q_{m \cdot} = \frac{P_7 M}{R T_7} \cdot Q_{v7} = \frac{3,0 \times 0,987 \text{ atm} \cdot 29 \text{ kg} \cdot 10^3 \text{ km}^3/\text{km}^3 \cdot 1000}{0,0821 \text{ km}^3/\text{atm} \cdot \text{K} \cdot 293 \text{ K}} \cdot \text{km}^3/\text{hr}$$

$$Q_{m \cdot} = 3574 \text{ kg/hr}$$

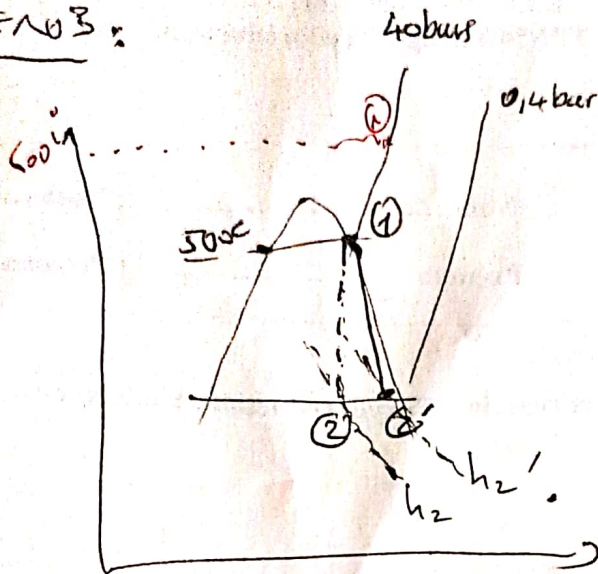
$$Q_2 = 0,9928 \text{ kg/sec}$$

$$W_{C1} = \frac{0,4 \times 8,314 \text{ (kJ)} \cdot 293 \text{ K} \cdot \text{kmole}}{0,4 \text{ kmole/K} \cdot 29 \text{ kg}} \cdot \left[(3,17065)^{\frac{1,4}{1,4}} - 1 \right]$$

$$W_{C1} = 114,82 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$P_C = 3 \times 0,9928 \frac{\text{kg}}{\text{sec}} \times 114,82 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 342 \text{ kW}$$

EXERCICE N°3:



$$h_1 = 3450 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} ; h_2 = 2440 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{vap}}(h_2 - h_{2'}) = \dot{m}_{\text{vap}} \cdot \eta_t \cdot (h_1 - h_2) \quad (1)$$

$\dot{Q}$. $\dot{V}_{\text{vap}} = 50 \text{ m}^3/\text{hr}$ qu'il faut convertir en débit massique.

$$\dot{m}_{\text{vap}} = \frac{\dot{Q}_{\text{vap}}}{v_{\text{sp, vap}}} = S_{\text{vap}} \dot{Q}_{\text{vap}}$$

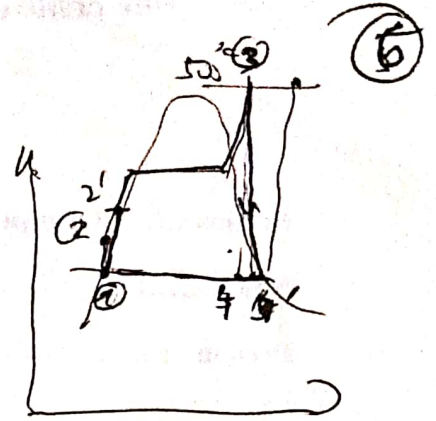
$$S_{\text{vap}} = \frac{1}{v_{\text{sp}}} ; v_{\text{sp}} = 88,9 \frac{\text{cm}^3}{\text{gr}} \quad (\text{à partir du diag. de } P-h)$$

$$\text{ou } v = \frac{RT}{P} = \frac{0,08210^{-3} \cdot 773}{40 \times 0,987 \times 18} = 0,089 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \approx 89 \frac{\text{cm}^3}{\text{gr}} \quad (1)$$

$$\dot{Q}_t = \frac{50 \text{ m}^3}{\text{hr}} \cdot \frac{1}{89 \text{ m}^3/\text{kg}} \cdot \frac{\text{hr}}{3600 \text{ s}} \cdot 99 (3450 - 2440)$$

$$\underline{\dot{Q}_t = 141,85 \text{ kW}} \quad (1)$$

Calcul du rendement du cycle :



$$\eta_{cycle} = \frac{W_{tr} - W_P}{Q_{ce}}$$

$$= \frac{W_{tr} \eta_t - \frac{W_P}{\eta_p}}{Q_{ce}}$$

$$\eta_{tr} = \frac{\eta_t (h_3 - h_4) - \frac{(h_2 - h_1)}{\eta_p}}{h_3 - h_2}$$

$h_1 = 360 \text{ kJ/kg}$ (0.5)

$h_2 = h_1 + v(P_2 - P_1)$ $\eta_p = \frac{h_2 - h_1}{h_2' - h_1}$

$h_2 = 360 + 0.001(10 - 0.4) \cdot 10^3 = 363.96 \text{ kJ/kg}$ (0.5)
 avec $w_p = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = 3.96 \text{ kJ/kg}$

$h_3 = 3450 \text{ kJ/kg}$ (0.5)

$h_4 = 2440 \text{ kJ/kg}$ (0.5)

$h_2' = h_1 + \frac{(h_2 - h_1)}{\eta_p}$ (0.5)

$h_2' = 360 + \frac{(363.96 - 360)}{0.9} = 364.4 \text{ kJ/kg}$

$\eta_{trag} =$

$\eta_{cycle} = \frac{0.9(3450 - 2440) - (363.96 - 360)/0.9}{3450 - 364.4} = 0.3515$ (1)

$\eta_{cycle} = 35.15\%$