

Physique : DM12

A - Etude d'une installation nucléaire REP (Centrale MP 2016)

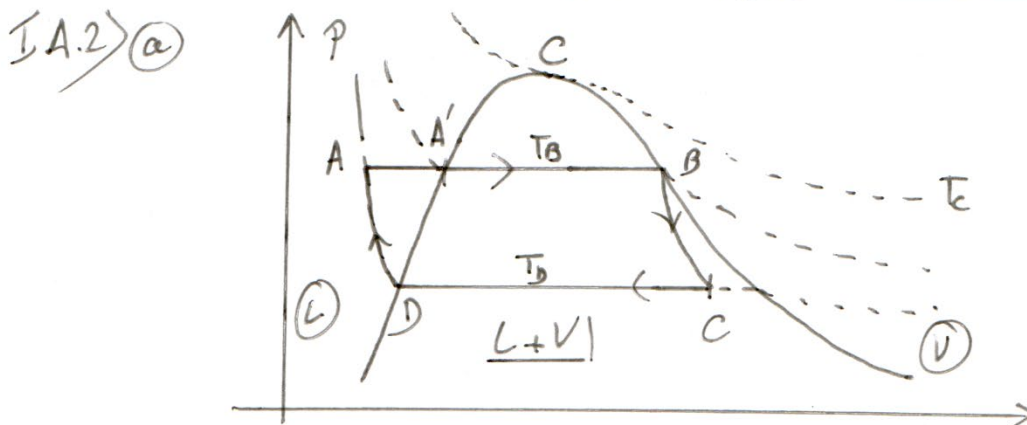
I.A.1) (a) Pour un cycle de Carnot :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U = W + Q_{CH} + Q_{FR} = 0 \\ \Delta S = \frac{Q_{CH}}{T_{CH}} + \frac{Q_{FR}}{T_{FR}} = 0 \end{array} \right.$$

Or $\eta = -\frac{W}{Q_{CH}} \Rightarrow \eta_{CARNOT} = 1 - \frac{T_{FR}}{T_{CH}}$ (a)

(b) A.N : $\eta_{CARNOT} \approx 0,42$

(c) Par définition $\eta = \left| \frac{W}{Q_{CH}} \right| = \frac{P_e \Delta t}{P_t \Delta t} \Rightarrow \eta = \frac{P_e}{P_t} = 0,32$



(b) d'après les données en fin d'énoncé, et en convertissant les températures

Points	$\theta(^{\circ}\text{C})$	$T(\text{K})$	$P(\text{bar})$	$h(\text{kJ/kg})$	$s(\text{J/kJkg})$	Etat
D	30	303	0,063	125,22	0,4368	liq. sat
A'	270	543	55	1190,10	2,9853	liq. sat
B	270	543	55	2788,46	5,9226	vap. sat

- c) On place le point D pour commencer à 30°C sur la courbe d'ébullition puis :
- on trace une isenthalpe jusqu'à 270°C (le point A)
 - — une isobare jusqu'à la courbe de rosée (le point B)
 - — — isentrope jusqu'à 30°C (le point C)
 - — — isobare jusqu'en A

d) On a : $\Delta h = w_u + q$ or $\Delta e = 0 \Rightarrow \underline{\Delta h = w_u + q}$

e) Pour la turbine : $w_{bc} = h_c - h_b$ car adiabatique
 $\Rightarrow w_{bc} = 1800 - 2788 = \underline{-988 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$

- f) De A à A', il n'y a pas de travail mobile d'où :

$$q_{AA'} = h_{A'} - h_A = 1190 - 125 = \underline{1065 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

(Rq : $T_A \neq T_B \Rightarrow w_{pompe} = c_{liq} (T_A - T_B) = 0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ce qui est déjà mentionné dans l'énoncé)

g) Maintenant $q_{A'B} = h_B - h_{A'} = 2788 - 1190 = \underline{1598 \text{ kJ/kg}}$

h) Or $\eta = \left| \frac{w}{q_c} \right| \Leftrightarrow \eta_1 = \left| \frac{w_{bc}}{q_{A'B} + q_{AA'}} \right| = \underline{0,37}$

Or $\eta_{\text{CARNOT},1} = 1 - \frac{T_D}{T_B} = 0,14 \ll \eta_1$

- i) Au pt C on a un mélange liquide-vapeur t.q : $x_c \approx 0,69$

d'eau étant en partie liquide cela va détériorer les ailettes par contact mécanique mais il faudra aussi éviter la corrosion

$$I.A.3 \rangle (b) \text{ Cette fois : } \begin{cases} x_{c'} = 0,85 \\ x_{c''} = 0,77 \end{cases}$$

le surchauffe permet de diminuer la quantité d'eau liquide qui passe dans la turbine

(a) \Rightarrow cf document réponse

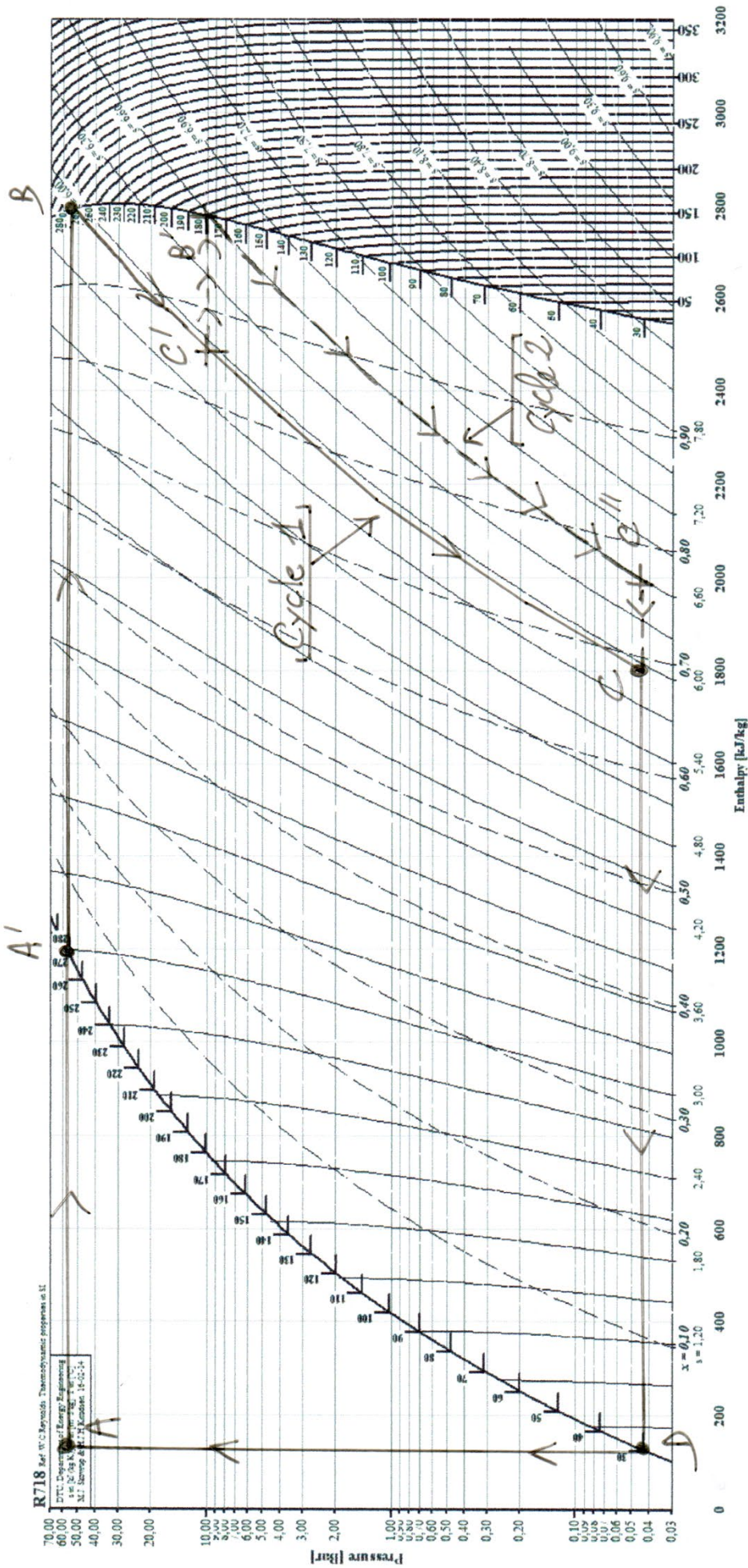
$$(c) \text{ On a cette fois-ci : } \eta_2 = \frac{W_{Bc'} + W_{Bc''}}{q_{AA'} + q_{AB} + q_{c'B'}}$$

$$\text{où } \begin{cases} W_{Bc'} = h_{c'} - h_B = 2500 - 2788 = -288 \text{ kJ.kg}^{-1} \\ W_{Bc''} = h_{c''} - h_{B'} = 2000 - 2780 = -780 \text{ kJ.kg}^{-1} \\ q_{c'B'} = h_{B'} - h_{c'} = 2780 - 2500 = 280 \text{ kJ.kg}^{-1} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \eta_2 = \frac{288 + 780}{720 + 1598 + 280} = \underline{0,41}$$

le rendement reste quasiment identique mais on va diminuer la détérioration de la turbine avec le temps

Les températures sont exprimées en °C



B - Cycle de Claude (CCP PSI 2014)

A.1.1)
$$dm \left[\underbrace{\left(h_2 + \frac{1}{2} c_2^2 + g z_2 \right)}_{\text{Energie massique totale}} - \underbrace{\left(h_1 + \frac{1}{2} c_1^2 + g z_1 \right)}_{\text{Energie massique totale}} \right] = \delta W_{\text{u}} + \delta Q$$

↑ travail utile ↑ chaleur ou transfert thermique

ou $\begin{cases} h: \text{enthalpie massique} \\ \frac{1}{2} c^2: \text{Ecinétique} \\ g z: \text{Epotentielle massique.} \end{cases}$

A.1.2) En divisant par dt :
$$\dot{m} \left[\left(h_2 + \frac{1}{2} c_2^2 + g z_2 \right) - \left(h_1 + \frac{1}{2} c_1^2 + g z_1 \right) \right] = P_{\text{u}} + P_{\text{th}}$$

A.2.1) Au point de repère M₁ on retrouve le débit massique \dot{m} d'où :

$$\dot{m} = \dot{m}_e + \dot{m}_{13} \Rightarrow \underline{\dot{m}_{13} = \dot{m} - \dot{m}_e}$$

A.2.2) Le système reçoit $-P_{T_1} - P_{T_2}$ de la part des turbines de système a 2 sorties et 1 entrée d'où :

$$\underbrace{\dot{m}_{13} h_{13} + \dot{m}_e h_{e1}}_{\text{sorties}} - \underbrace{\dot{m} h_1}_{\text{entrée}} = -P_{T_1} - P_{T_2}$$

Or $\dot{m}_{13} = \dot{m} - \dot{m}_e \Rightarrow \underline{\dot{m} (h_{13} - h_1) + \dot{m}_e (h_{e1} - h_1) = -P_{T_1} - P_{T_2}} \quad (1)$

A.2.3) APP appliqué à la turbine 1 $\dot{m}_{11} h_{11} - \dot{m}_{12} h_{12} = -P_{T_1}$

Or $\dot{m} = \dot{m}_2 + \dot{m}_{12} = (1 - \alpha_1) \dot{m} + \dot{m}_{12} \Rightarrow \dot{m}_{12} = \alpha_1 \dot{m}$

De plus $\begin{cases} \dot{m}_{12} = \dot{m}_{11} \\ h_2 = h_{12} \end{cases} \Rightarrow \underline{\alpha_1 \dot{m} (h_{11} - h_2) = -P_{T_1}} \quad (2)$

$$A.2.4) \text{ Sur } T_2: Dm_g h_g - Dm_{10} h_{10} = -P_{T_2}$$

$$\text{or } \begin{cases} h_{10} = h_4 \\ Dm_g = Dm_{10} \\ Dm_4 + Dm_{10} = Dm_2 \Leftrightarrow (1-x_1)(1-x_2) Dm + Dm_{10} = (1-x_1) Dm = Dm_2 \\ \Leftrightarrow Dm_{10} = (1-x_1) Dm x_2 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow Dm_{10} = (1-x_1) Dm x_2$$

$$\text{Donc } \underline{(1-x_1)x_2 Dm [h_g - h_4] = -P_{T_2}} \quad (3)$$

A.2.5) En regroupant 1,2,3 :

$$Dm(h_{13} - h_1) + Dm_e (h_{liq} - h_1) = x_1 Dm (h_{11} - h_2) + x_2 (1-x_1) Dm (h_g - h_4)$$

$$\text{or } y = \frac{Dm_e}{Dm} \Rightarrow y (h_{liq} - h_1) = x_1 (h_{11} - h_2) + x_2 (1-x_1) (h_g - h_4) - (h_{13} - h_1)$$

$$\text{Donc } y = \frac{x_1 (h_{11} - h_2) + x_2 (1-x_1) (h_g - h_4) + h_1 - h_{13}}{h_{liq} - h_1} \quad (4)$$

A.2.6) Au niveau de E_1 on a: $Dm (h_2 - h_1) + Dm_{13} (h_{13} - h_{12}) = 0$

$$\text{or } Dm_{13} = Dm - Dm_e \Rightarrow Dm (h_2 - h_1) + Dm (h_{13} - h_{12}) = Dm_e (h_{13} - h_{12})$$

$$\Rightarrow Dm_e = Dm \cdot \frac{h_2 - h_1 + h_{13} - h_{12}}{h_{13} - h_{12}}$$

$$\Rightarrow Dm_e = Dm \left[1 + \frac{h_2 - h_1}{h_{13} - h_{12}} \right]$$

$$\Rightarrow y = \frac{1 + \frac{h_2 - h_1}{h_{13} - h_{12}}}{1} = 1 + \frac{1060 - 1476}{1454,2 - 1017,9} = \underline{\underline{0,046}}$$

$$A.2.7) \text{ Sur } E_2: Dm_2(h_3-h_2) + Dm_{13}(h_{12}-h_{11}) = 0$$

$$\Leftrightarrow Dm(1-x_1)(h_3-h_2) + (Dm-Dm_e)(h_{12}-h_{11}) = 0$$

$$\Leftrightarrow (1-x_1)(h_3-h_2) + (1-y)(h_{12}-h_{11}) = 0$$

$$\Leftrightarrow (1-x_1) = - \frac{(1-y)(h_{12}-h_{11})}{h_3-h_2}$$

$$\Leftrightarrow x_1 = 1 + \frac{(1-y)(h_{12}-h_{11})}{h_3-h_2} = 1 + \frac{(1-0,046) \times 1017,9 - 527,2}{540,3 - 1060} = \underline{\underline{0,100}}$$

$$A.2.8) \text{ Sur } E_4: Dm_4(h_5-h_4) + Dm_3'(h_{10}-h_9) = 0 \text{ où } Dm_4 = (1-x_1)(1-x_2)Dm.$$

$$\text{or } Dm_3' + Dm_{11} = Dm_{12} \text{ avec } \begin{cases} Dm_{12} = Dm_{13} = Dm - Dm_e \\ Dm_{11} = x_1 Dm \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow Dm_3' = (Dm - Dm_e) - x_1 Dm = (1-x_1)Dm - Dm_e$$

$$\text{Donc: } (1-x_1)(1-x_2)Dm(h_5-h_4) + [(1-x_1)Dm - Dm_e](h_{10}-h_9) = 0$$

$$\Leftrightarrow (1-x_1)(1-x_2)(h_5-h_4) + [(1-x_1) - y](h_{10}-h_9) = 0$$

$$\Leftrightarrow 1-x_2 = - \frac{(1-x_1-y)(h_{10}-h_9)}{(1-x_1)(h_5-h_4)}$$

$$\Leftrightarrow x_2 = 1 + \frac{(1-x_1-y)(h_{10}-h_9)}{(1-x_1)(h_5-h_4)} = 1 + \frac{(1-0,1-0,046) \left(\frac{250-118}{110,5-277,4} \right)}{1-0,146} = \underline{\underline{25\%}}$$

$$A.2.9) \text{ Sur le détendeur: } h_6 = h_7 \text{ et } h_7 = x_{liq} h_{liq} + (1-x_{liq}) h_{vap}.$$

$$\Leftrightarrow x_e = \frac{h_6 - h_{vap}}{h_{liq} - h_{vap}} \quad (\text{théorème des moments chimiques})$$

$$\text{On a } Dm_e = x_e Dm_7 \text{ avec } Dm_7 = Dm_6 = Dm_4 = (1-x_1)(1-x_2)Dm$$

$$\Rightarrow x_e = \frac{Dm_e}{Dm_7} = \frac{Dm_e}{Dm} \cdot \frac{1}{(1-x_1)(1-x_2)} \Rightarrow y = x_e (1-x_1)(1-x_2) = \underline{\underline{0,046}}$$

$$A.2.10) \text{ Soit } Dm_e = \frac{Sm}{dt} = \rho_e \frac{\delta V}{dt} \Rightarrow Dm_e = \rho_e Dv_e.$$

$$\text{or } \eta = x_2(1-x_1)(1-x_2) \Rightarrow \underline{Dv_e = \frac{Dm}{\rho_e} x_2(1-x_1)(1-x_2)} = \underline{0,595 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}}$$

$$A.2.11) \text{ Soit } P_{p,eq} = Dm_e L_{vm} = Dm_e (h_{vap} - h_{liq})$$

$$\Leftrightarrow \underline{P_{p,eq} = \rho_e Dv_e (h_{vap} - h_{liq})}$$

$$= 125,4 \times 0,595 \cdot 10^{-3} (30,74 - 9,90) \cdot 10^3$$

$$= \underline{\underline{1,55 \text{ kW}}}$$

A.2.12) La somme de toutes les puissances doit correspondre à la puissance nécessaire pour comprimer le gaz d'air :

$$\underbrace{P_C + P_{T1} + P_{T2}}_{P_{TOT,c}} = Dm_e h_{14} - \underbrace{Dm_{13} h_{13}}_{Dm \cdot Dm_e} - Dm_e h_{13}$$

$$\Leftrightarrow P_C = Dm_e (h_{14} - h_{13}) - P_{T1} - P_{T2}$$

$$= Dm_e (h_{14} - h_{13}) + x_1 Dm_e (h_{11} - h_2) + (1-x_1)x_2 Dm_e (h_g - h_u)$$

$$\Leftrightarrow \underline{P_C = Dm_e [h_{14} - h_{13} + x_1 (h_{11} - h_2) + (1-x_1)x_2 (h_g - h_u)]}$$

$$= 1600 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 [1900 - 1454,2 + 0,1(527,2 - 1060) + 0,9 \cdot 0,25(3074 - 2774)]$$

$$\Leftrightarrow P_C = 570 \text{ kW.}$$

$$A.2.13) \text{ Or } \left\{ \begin{array}{l} \text{l'efficacité est définie par } e = \frac{P_{p,eq}}{P_C} = \frac{1,55}{570} = 2,7 \cdot 10^{-3} \\ \text{et l'efficacité de Carnot vaut : } e_c = \frac{T_F}{T_C - T_F} = \frac{4,2}{280 - 4,2} = 1,52 \cdot 10^{-2} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow \underline{\frac{e}{e_c} = 18\%}, \text{ on est assez proche de la machine du CERN}$$