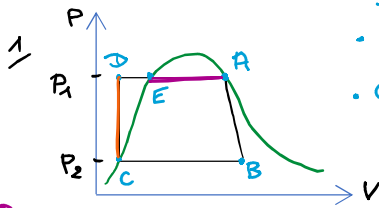


A - Cycle de Rankine

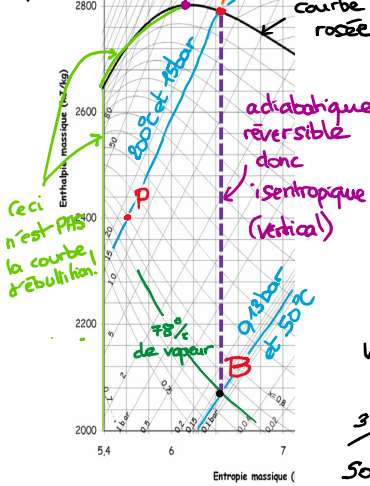
→ correspond au GB du TD "turbine à vapeur"



Justifications (qui n'étaient pas demandées) :

- A = vapeur saturante, donc A est sur la courbe de rosée.
- On a déjà vu en TD que la détente dans la turbine produit des gouttes liquides si on part de la vapeur saturante, donc B est dans le domaine diphasique, i.e. B est sous la courbe de saturation (confirmation par Mollier) mais à droite de A (cf détente)

① On a vu en TD que ceci n'est PAS le point critique



• B → C : condenseur à p_2 donc isobare. On s'arrête en C sur la courbe d'ébullition (cf "entièrement condensée")

• C → D : on comprime un liquide donc $P \uparrow$ très vite (quasi-vertical)

• D → A à p_1 donc isobare. La vaporisation E → A débute en E sur la courbe d'ébullition

2/ On lit $h_A \approx 2790 \text{ kJ}$ et $h_B \approx 2070 \text{ kJ}$

1^{er} principe en système ouvert appliqué à la turbine : $W_u = m(h_B - h_A)$
→ reçu par l'eau!

$$W_c = -W_u = m(h_A - h_B) = 720 \text{ kJ}$$

3/ D'après le diagramme, l'isotherme 200°C correspond à l'isobare 15 bar sous la courbe de saturation. On peut se servir du point P (15 bar, 80% de vapeur).

La transformation P → A correspond à la vaporisation de $1 \times (1 - 0,8) = 0,2 \text{ kg}$ d'eau.

Cette vaporisation consomme $h_A - h_P = 0,2 L_{200} \rightarrow L_{200} \approx \frac{2790 - 2400}{0,2} = 1950 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Attention, on ne pouvait pas se servir de la courbe d'ébullition car elle n'apparaît pas sur ce diagramme!

4/ Énoncé : $T_D \approx T_C$. De plus B → C est isobare donc isotherme, (car B et C sont sous la courbe de saturation), donc $T_C = T_B$. Il suffit de repérer l'isotherme qui passe par B (elle rejoint l'isobare à partir de la courbe de rosée). On trouve $T_B = 50^\circ\text{C}$ donc $T_D \approx 50^\circ\text{C}$

De même, $T_E = T_A = 200^\circ\text{C}$

chauffage d'un liquide : $T \uparrow$
vaporisation isobare : $T = \text{const.}$
II ne faut surtout pas écrire : $Q_{EA} = c(T_A - T_E)$ car il s'agit d'un mélange diphasique que l'on vaporise. (transition de phase)

$$Q_1 = Q_{DE} + Q_{EA} = c(T_E - T_D) + L_{200} = 4,18 \times 10^3 (200 - 50) + 1940 \times 10^3$$

$$\text{Soit } Q_1 = 2567 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

5/ Au point B (entrée du condenseur) on a $x_v = 0,78$ donc $m = 0,78 \text{ kg}$ de vapeur (et non pas 1 kg!) à liquéfier, donc $Q_2 = -0,78 \times L_{50} \approx -1857 \text{ kJ}$ (<0 car chaleur évacuée par l'eau)

Là encore, il ne faut surtout pas écrire : $Q_2 = mc(T_C - T_B)$, car c'est une liquéfaction.

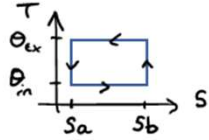
$$6/ \eta = \frac{-W}{Q_c} = \frac{W_t}{Q_1} = \frac{720}{2567} = 0,28 = 28\%$$

$$7/ \eta = \frac{-W}{Q_c} \stackrel{\text{1er Principe}}{=} \frac{Q_c + Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c}, \text{ or } \Delta S_{\text{univers}} = -\frac{Q_c}{T_c} - \frac{Q_f}{T_f} \geq 0 \rightarrow \frac{Q_f}{Q_c} \leq -\frac{T_f}{T_c}$$

$$\text{donc } \eta \leq 1 - \frac{T_f}{T_c} = \eta_{\text{max}} \rightarrow \text{A.N. : } \eta_{\text{max}} = 1 - \frac{50 + 273}{200 + 273} = 0,317 (\geq \eta_{\text{Rankine}})$$

Congélateur

1/ Un cycle de Carnot est un cycle réversible composé de 2 adiabatiques et de 2 isothermes,



$\eta = \frac{Q_F}{W} = \frac{Q_F}{-Q_F - Q_C} = \frac{1}{-1 - \frac{Q_C}{Q_F}}$; Cycle réversible : $\Delta S = 0 = \frac{-Q_C}{T_C} - \frac{Q_F}{T_F}$
 $\rightarrow -\frac{Q_C}{Q_F} = \frac{T_C}{T_F}$

donc $\eta = \frac{1}{-1 + \frac{T_C}{T_F}} = \frac{T_F}{T_C - T_F} = \frac{\theta_{in}}{\theta_{ex} - \theta_{in}}$ $\rightarrow \eta = \frac{273 - 18}{20 - (-18)} = 6,7$

2/ Sur la durée dt , le compresseur apporte $\delta W = P dt$, et la chaleur retirée à l'air est : $\delta Q_F = \eta P dt$

On en déduit la variation de température de l'air intérieur : $d\theta_{in} = -\frac{1}{C} \eta P dt = -\frac{1}{C} \frac{\theta_{in}}{\theta_{ex} - \theta_{in}} P dt$

Soit $P dt = -C \frac{(\theta_{ex} - \theta_{in})}{\theta_{in}} d\theta_{in} = -C \theta_{ex} \frac{d\theta_{in}}{\theta_{in}} + C d\theta_{in}$

3/ D'où par intégration : $P_x t = -C \theta_{ex} \ln(\theta_{in}) + C \theta_{in} + K$

à $t=0$, $\theta_{in} = \theta_{ex} \rightarrow 0 = -C \theta_{ex} \ln \theta_{ex} + C \theta_{ex} + K \rightarrow K = C \theta_{ex} (\ln \theta_{ex} - 1)$

d'où $P_x t = C \theta_{ex} \ln \left(\frac{\theta_{ex}}{\theta_{in}} \right) + C (\theta_{in} - \theta_{ex})$ (soit $a = -C \theta_{ex}/P$; $b = C/P$ et $d = \frac{C \theta_{ex}}{P} (\ln \theta_{ex} - 1)$)

à $t = t_R$ on a : $\theta_{in} = \theta_F$, d'où : $t_R = \frac{1}{P} [C \theta_{ex} \ln \left(\frac{\theta_{ex}}{\theta_F} \right) + C (\theta_F - \theta_{ex})]$

$t_R = \frac{20 \times 10^3}{100} \left[(273 + 20) \ln \left(\frac{273 + 20}{273 - 18} \right) - (20 + 18) \right] = 540 s \approx 9 \text{ min.}$

Carottes

1/ Sifflet à l'équilibre : $P_1 S = P_0 S + mg \rightarrow P_1 = P_0 + \frac{mg}{S} = 10^5 + \frac{51 \times 10^{-3} \times 9,81}{6 \times (10^{-3})^2}$
 $\rightarrow P_1 \approx 1,83 \times 10^5 \text{ Pa} = 1,83 \text{ bar}$
 environ 1000 fois plus petit !
 formule obtenue 36 fois au 1^{er} semestre !

2/ On néglige u_{liq} devant $u_{vap} = \frac{RT}{P}$ (gaz parfait). Alors $\Delta H_{vap} \approx T \frac{RT}{P} \left(\frac{dP}{dT} \right)_{lv}$

Soit $\frac{dT}{T^2} = \frac{R}{\Delta H} \frac{dP}{P}$, ce qui s'intègre en : $\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1} = \frac{R}{\Delta H_{vap}} \ln \frac{P_1}{P_0}$ (cf 8) le mot "molaire" était souligné

3/ $n \Delta H_{mol} = m \Delta H_{mass} \rightarrow \Delta H_{mol} = M_{H_2O} \Delta H_{mass} = 18 \times 10^{-3} \times 2,25 \times 10^6 = 4 \times 10^4 \text{ J mol}^{-1}$

d'où $\frac{1}{T_1} = \frac{1}{373} - \frac{8,31}{4 \times 10^4} \ln \frac{1,83}{1,0} \rightarrow T_1 \approx 118^\circ \text{C} \rightarrow \text{Facteur de Bigelow} \approx 4 \rightarrow t_{cuisson} \approx \frac{20}{4} = 5 \text{ min.}$

- Ce résultat signifie que la pression de vapeur saturante à 118°C vaut environ 1,83 bar
- Si on oublie la conversion $\Delta H_{massique} \rightarrow \Delta H_{molaire}$, on trouve $T_1 \approx 100^\circ \text{C} \rightarrow$ La cocotte n'aurait aucun intérêt.