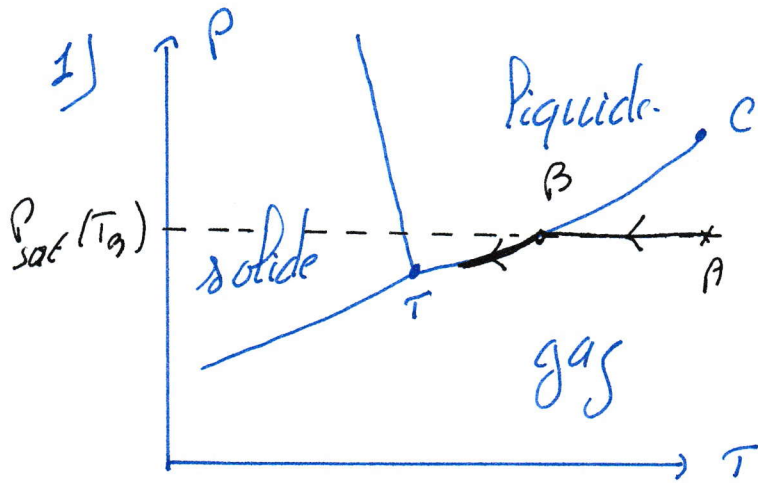


Devoir surveillé n°2

Correction

BCPST2
2025-2026

Problème: quelques phénomènes de changement de phase.



2) A l'équilibre entre les deux phases:

$$\mu_{\text{liq}}(T, P_{\text{sat}}) = \mu_{\text{vap}}(T, P_{\text{sat}})$$

$$\Rightarrow \mu_{\text{liq}}^{\text{ref}}(T, P_{\text{sat}}) = \mu_{\text{vap}}^{\circ}(T) + RT \ln \frac{P_{\text{sat}}}{P^{\circ}}$$

$$\Rightarrow \mu_{\text{liq}}^{\text{ref}}(T, P_{\text{sat}}) - \mu_{\text{vap}}^{\circ}(T) = RT \ln \frac{P_{\text{sat}}}{P^{\circ}}$$

3) D'après le tableau: $P_{\text{sat}}(T=10^{\circ}\text{C}) = 1,2 \text{ hPa}$.

$P > P_{\text{sat}} \Rightarrow$ le système ne peut pas être à l'équilibre.

$$\bullet \mu_{\text{liq}}(T, P) = \mu_{\text{liq}}^{\text{ref}}(T, P)$$

$$\bullet \mu_{\text{vap}}(T, P) = \mu_{\text{vap}}^{\circ}(T) + RT \ln \frac{P}{P^{\circ}}$$

$$\Rightarrow \mu_{\text{liq}}(T, P) - \mu_{\text{vap}}(T, P) = \mu_{\text{liq}}^{\text{ref}}(T, P) - \mu_{\text{vap}}^{\circ}(T) - RT \ln \frac{P}{P^{\circ}}$$

$$\stackrel{\text{① } P \text{ sans influence sur } \mu^{\text{ref}}}{=} \underbrace{\mu_{\text{liq}}^{\text{ref}}(T, P_{\text{sat}}) - \mu_{\text{vap}}^{\circ}(T) - RT \ln \frac{P_{\text{sat}}}{P^{\circ}}}_{RT \ln \frac{P_{\text{sat}}}{P} \text{ d'après question 2.}}$$

$$\Rightarrow \mu_{\text{liq}}(T, P) - \mu_{\text{vap}}(T, P) = RT \ln \frac{P_{\text{sat}}}{P}$$

$P > P_{\text{sat}} \Rightarrow \mu_{\text{liq}}(T, P) - \mu_{\text{vap}}(T, P) < 0 \Rightarrow \mu_{\text{vap}}(T, P) > \mu_{\text{liq}}(T, P)$
L'évolution se fait dans le sens des potentiels chimiques décroissants, c'est à dire vapeur $\rightarrow$ liquide.

4). Dans la journée, la température T est suffisamment élevée pour que $P_{\text{eau}} < P_{\text{sat}}(T_A)$: point A (question 1)

$\uparrow$
 pression partielle
 en eau.

• Au cours de la nuit $T \downarrow$ jusqu'à atteindre une température T_0 telle que: $P_{\text{eau}} = P_{\text{sat}}(T_0) \Rightarrow$ apparition phase liquide.

En A: $\mu_{\text{vap}}(T_A, P) < \mu_{\text{liq}}(T_A, P)$: une seule phase vapeur

En B: $\mu_{\text{vap}}(T_B, P) = \mu_{\text{liq}}(T_B, P)$: équilibre liq = vap.

• si $T \downarrow$ en dessous de T_0 : équilibre liq = vap avec une format° de plus en plus abondante de la phase liquide.

5) Second principe de la thermodynamique:

• $\exists$ une fct d'état extensive, notée S , telle que: $\Delta S = S_{\text{ech}} + S_{\text{cr}}$

• Si contact avec une source extérieure à la température T_{ext} :

$$S_{\text{ech}} = \frac{\delta Q}{T_{\text{ext}}} \Rightarrow S_{\text{ech}} = \frac{Q}{T_{\text{ext}}}$$

$\uparrow$
 si $T_{\text{ext}} = \text{cte}$

• $S_{\text{cr}} \geq 0$ avec : $S_{\text{cr}} = 0$ si réversible
 $S_{\text{cr}} > 0$ si irréversible.

Pour une évolut° adiabatique: $\delta Q = 0 \Rightarrow S_{\text{ech}} = 0 \} \Rightarrow \Delta S = 0$

Pour une évolution réversible: $S_{\text{cr}} = 0$

6) Détente adiabatique: $\Delta S = 0$

$$\Rightarrow m C_{p,m} \ln \frac{T_f}{T_i} - m R \ln \frac{P_f}{P_i} = 0 \Rightarrow T_f = T_i \left(\frac{P_f}{P_i} \right)^{\frac{R}{C_{p,m}}}$$

AN: $T_f = 196 \text{ K}$

7) Le gaz étant constitué essentiellement de CO_2 : $P_{\text{CO}_2} \approx P_{\text{totale}}$ dans l'état initial et dans l'état final.

EI : $P_{\text{CO}_2} \approx 6 \text{ bar}$ et $T_i = 293 \text{ K} \Rightarrow \text{CO}_2$ sous forme de vapeur

EF : $P_{\text{CO}_2} \approx 1 \text{ bar}$ et $T_f = 196 \text{ K} \Rightarrow \text{CO}_2$ est sous forme solide dans le panache de fumée.

8) Le modèle n'est pas satisfaisant car il modélise une détente brutale comme étant réversible.

Problème : bilan thermique d'une piscine.

1. {eau du bassin}

Premier principe : $dU = \delta Q \Rightarrow m_{\text{eau}} c_{\text{eau}} dT = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{phase condensée}}}{P_{\text{air-eau}}} dt + P_0 dt$

$$\Rightarrow m_{\text{eau}} c_{\text{eau}} dT = h_s (T_{\text{air}} - T) dt + P_0 dt$$

$$\Rightarrow m_{\text{eau}} c_{\text{eau}} \frac{dT}{dt} + h_s T = h_s T_{\text{air}} + P_0$$

$$\Rightarrow \frac{dT}{dt} + \frac{h_s}{m_{\text{eau}} c_{\text{eau}}} T = \frac{h_s}{m_{\text{eau}} c_{\text{eau}}} T_{\text{air}} + \frac{P_0}{m_{\text{eau}} c_{\text{eau}}} = \frac{h_s}{m_{\text{eau}} c_{\text{eau}}} \left(T_{\text{air}} + \frac{P_0}{h_s} \right)$$

$$\text{on pose } \tau = \frac{m_{\text{eau}} c_{\text{eau}}}{h_s} = \frac{\rho_{\text{eau}} V c_{\text{eau}}}{h_s} \quad \text{et} \quad T_{\infty} = T_{\text{air}} + \frac{P_0}{h_s}$$

2) Lorsque le régime stationnaire est atteint : $\frac{dT}{dt} = 0 \Rightarrow T = T_{\infty}$

D'après le document 1 : $T_{\infty} = 29^{\circ}\text{C}$ avec $T_{\text{air}} = 20^{\circ}\text{C}$

$$\text{or } T_{\infty} = T_{\text{air}} + \frac{P_0}{h_s} \Rightarrow P_0 = h_s (T_{\infty} - T_{\text{air}}) \quad \underline{\text{AN}}: P_0 = 13,5 \text{ kW}$$

3. Pour un changement d'état : $\Delta H_2 = m_{\text{vap}} \times \Delta h_{\text{vap}}$
 $\Rightarrow \Delta H_2 = D_0 (t_f - t_i) \rho_{\text{eau}} \Delta h_{\text{vap}}$

$$4. \underline{\text{AN}}: \Delta H_2 = 2,3 \cdot 10^9 \text{ J}$$

5. L'évaporation est un phénomène endothermique qui nécessite un apport d'énergie. Cette énergie provient notamment de l'eau liquide au contact de celle évaporée. La température de l'eau liquide restante diminue.

$$6. \begin{array}{c} P \\ \uparrow \\ \text{kW} = \text{kJ} \cdot \text{s}^{-1} \end{array} = \begin{array}{c} \rho_{\text{e}} \times \\ \uparrow \\ \text{kg} \cdot \text{g}^{-1} \end{array} D_{\text{m, but}} \Rightarrow D_{\text{m, but}} = \frac{P}{\rho_{\text{e}}} \quad \underline{\text{AN}}: D_{\text{m, but}} = 2 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$$

$\uparrow$
 $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$

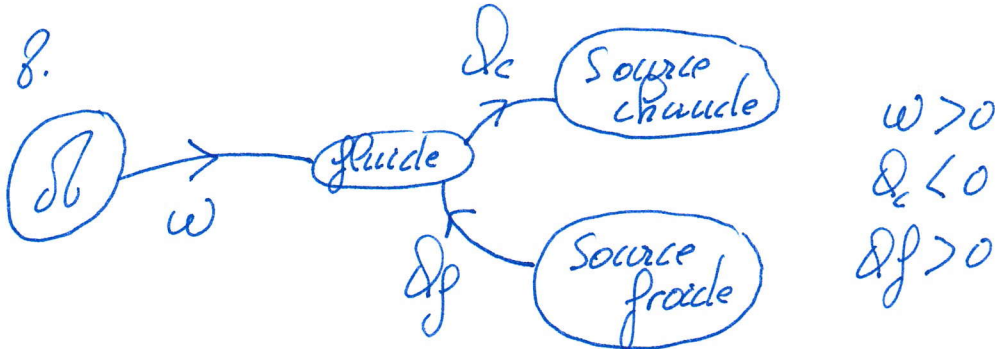
ou $D_{\text{m, but}} = 120 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$

7. D'après l'équation bilan de la combustion: $m_{CO_2, prod} = 4 m_{but, cons}$

$$\Rightarrow \frac{m_{CO_2, prod}}{\pi_{CO_2}} = 4 \frac{m_{but, cons}}{\pi_{but}} \Rightarrow m_{CO_2, prod} = 4 \times \frac{\pi_{CO_2}}{\pi_{but}} m_{but, cons}$$

Soit Dm_{CO_2} la masse de CO_2 produite par minute

$$Dm_{CO_2} = 4 \cdot \frac{\pi_{CO_2}}{\pi_{but}} Dm_{but} \quad \underline{AN}: Dm_{CO_2} = 364 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$$



9. Premier principe sur un cycle: $\Delta U_{cycle} = \omega + Q_c + Q_f = 0 \quad (1)$

Deuxième principe sur un cycle: $\Delta S_{cycle} = S_{ech} + S_{cr} = 0$

Fonctionnement réversible $\Rightarrow S_{cr} = 0$

Contact avec 2 sources à température constante: $S_{ech} = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} = 0$

$$\Rightarrow Q_f = - Q_c \frac{T_f}{T_c} \quad (2)$$

Soit e l'efficacité de cette PAC: $e = - \frac{Q_c}{\omega} \stackrel{\text{d'après (1)}}{=} + \frac{Q_c}{Q_c + Q_f}$

$$\Rightarrow e = \frac{1}{1 + \frac{Q_f}{Q_c}} \stackrel{\text{d'après (2)}}{=} \frac{1}{1 - \frac{T_f}{T_c}} \Rightarrow \underline{\underline{e = \frac{T_c}{T_c - T_f}}}$$

$$\underline{AN}: e = 37,6$$

10. Premier principe industriel en négligeant toute variation d'énergie cinétique et potentielle.

$$Dm \Delta h = P_{ch} + P_{utile} \quad \text{avec } h: \text{enthalpie massique}$$

11. { eau traversant l'échangeur }

Premier principe industriel: $\dot{Q}_m \Delta h = \dot{P}_{ch, \text{eau}} + \dot{P}_{\text{utile}}$
 $\rightarrow 0$ (pas de pièce mobile)

$$\dot{Q}_m = \rho_{\text{eau}} \dot{V}$$

$$\Delta h = \rho_{\text{eau}} \Delta T \text{ avec } \Delta T = 4,5^\circ\text{C d'après le document 3}$$

$\uparrow$
phase condensée

$$\Rightarrow \dot{P}_{ch, \text{eau}} = \rho_{\text{eau}} \dot{V} \Delta T \quad \underline{\text{AN:}} \quad \dot{P}_{ch, \text{eau}} = 105 \text{ kW}$$

12. $\epsilon_1 = - \frac{\dot{P}_{ch, ch}}{\dot{P}_{\text{elec}}}$ avec $\dot{P}_{ch, ch}$: puissance reçue par le fluide au contact de la source chaude

$$\Rightarrow \epsilon_1 = + \frac{\dot{P}_{\text{chaud}}}{\dot{P}_{\text{elec}}} \quad \dot{P}_{ch, ch} = -\dot{P}_{\text{chaud}}$$

$\underline{\text{AN:}} \quad \dot{P}_{\text{elec}} = 12 \text{ kW (lecture doc 3)}$

$$\epsilon_1 = \frac{105}{12} = 8,75$$

13. 1 $\rightarrow$ 2 : compresseur
 2 $\rightarrow$ 5 : condenseur (changement d'état vapeur $\rightarrow$ liquide entre 3 et 4)
 5 $\rightarrow$ 6 : détenteur.
 6 $\rightarrow$ 1 : évaporateur (changement d'état liquide $\rightarrow$ vapeur entre 6 et 7)

14. { fluide caloporteur traversant l'évaporateur }

$$\dot{Q}_m \Delta h = \dot{P}_{ch} + \dot{P}_{\text{utile}} \rightarrow 0: \text{pas de pièce mobile.}$$

• Le fluide reçoit de l'énergie dans l'évaporateur : il est au contact de la source froide : $\dot{P}_{ch} = \dot{P}_f = 80 \text{ kW}$

• $\Delta h = h_1 - h_6$ lecture graphique: $h_1 = 405 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
 $h_6 = 270 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

$$\Rightarrow \Delta h = + 135 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\Rightarrow \dot{D}_m = \frac{P_f}{\Delta h}$$

$$\underline{AN}: \dot{D}_m = 0,6 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

15. • { fluide traversant le condenseur }

$$\Delta h = h_5 - h_2 = q_{ch} + w' \quad \hookrightarrow 0: \text{pas de pièce mobile}$$

lectures graphiques : $h_2 = 435 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ $\Rightarrow q_{ch} = -165 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
 $h_5 = 270 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

• { fluide traversant le compresseur }

$$\Delta h = h_2 - h_1 = w' + q \quad \hookrightarrow 0: \text{compresseur centrifuge}$$

$$\Rightarrow w' = 435 - 405 = 30 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$C_2 = - \frac{q_{ch}}{w'} \quad \underline{AN}: C_2 = 5,5$$