

CORRIGÉ DU DEVOIR À LA MAISON 10

Exercice 1 – Morceau de fer

- La transformation subie par le système complet Σ est monobare, isochore et adiabatique
- 1^{er} principe pour une transformation monobare : $\Delta H_{\Sigma} = Q + W_u$.

Transformation adiabatique : $Q = 0$ donc $\Delta H_{\Sigma} = 0$

- Le système Σ est composé de trois sous-systèmes.

| Sous-système | Eau | Calorimètre | Fer |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Masse | $m_{\text{eau}} = 400 \text{ g}$ | $\mu = 20 \text{ g}$ | $m_{\text{Fe}} = 200 \text{ g}$ |
| Température initiale | $\theta_0 = 2,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_0 = 275,0 \text{ K}$ | $\theta_0 = 2,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_0 = 275,0 \text{ K}$ | $\theta_1 = 85,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_1 = 358,0 \text{ K}$ |
| Température finale | $\theta_F = 6,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_F = 279,4 \text{ K}$ | $\theta_F = 6,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_F = 279,4 \text{ K}$ | $\theta_F = 6,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_F = 279,4 \text{ K}$ |

L'enthalpie est additive donc : $\Delta H_{\Sigma} = \Delta H_{\text{eau}} + \Delta H_{\text{cal}} + \Delta H_{\text{fer}} = 0$

Pour une phase condensée : $\Delta H = \Delta U = C\Delta T$

$$m_{\text{eau}}c_{\text{eau}}(T_F - T_0) + \mu c_{\text{eau}}(T_F - T_0) + m_{\text{Fe}}c_{\text{Fe}}(T_F - T_1) = 0$$

$$c_{\text{Fe}} = \frac{(m_{\text{eau}} + \mu)c_{\text{eau}}(T_F - T_0)}{m_{\text{Fe}}(T_1 - T_F)} = 4,9 \cdot 10^2 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$$

Exercice 2 – Conducteur ohmique

- Flux thermique = puissance thermique en Watt.
- Système : conducteur ohmique = phase condensée

Quantité de chaleur échangée avec l'extérieur : $\delta Q = \phi_{\text{ext} \rightarrow R} dt$

- Premier principe pour une transformation élémentaire :

$$dU = \delta Q + \delta W_p + \delta W_u \text{ (ou } dH = \delta Q + \delta W_u \text{)}$$

Variation d'énergie interne : $dU = CdT = dH$

Travail des forces de pression $\delta W_p = 0$

Travail utile = travail électrique $\delta W_u = RI^2 dt$

Quantité de chaleur échangée avec l'extérieur : $\delta Q = CdT - RI^2 dt$

- En égalant les 2 expressions précédentes de δQ , on obtient :

$$\phi_{\text{ext} \rightarrow R} dt = CdT - RI^2 dt \Leftrightarrow hS(T_0 - T) dt = CdT - RI^2 dt$$

$$hS(T_0 - T) = C \frac{dT}{dt} - RI^2 \Leftrightarrow C \frac{dT}{dt} = hS(T_0 - T) + RI^2$$

$$\frac{C}{hS} \frac{dT}{dt} + T = T_0 + \frac{RI^2}{hS} \Leftrightarrow \tau_{th} \frac{dT(t)}{dt} + T(t) = T_F \text{ avec } \tau_{th} = \frac{C}{hS} \text{ et } T_F = T_0 + \frac{RI^2}{hS}$$

5. En régime permanent, $\theta_1 = 40^\circ\text{C}$ soit $T_F = T_1 = 313\text{ K}$

Coefficient de transfert thermique : $T_F = T_0 + \frac{RI^2}{hS} \Leftrightarrow T_F - T_0 = \frac{RI^2}{hS}$

$$h = \frac{RI^2}{S(T_F - T_0)} = 5,0 \cdot 10^3 \text{ W.K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Exercice 3 – Gaz comprimé

1. Nombre de particules : $N = n \cdot N_A = 1,8 \cdot 10^{23}$

2. Système : GP diatomique dans le récipient (système fermé)

- État d'équilibre initial : P_1, T_1, V_1, n

- Équilibre mécanique : $P_1 = P_e = 1,0 \text{ bar}$

- Équilibre thermique (parois diathermes) : $\theta_1 = \theta_e = 20^\circ\text{C}$ et

$$T_1 = T_e = \theta_e + 273 = 293 \text{ K}$$

- Équation d'état du GP : $P_1 V_1 = nRT_1 \Leftrightarrow \pi a^2 h_1 = \frac{nRT_1}{P_1} \Leftrightarrow h_1 = \frac{nRT_1}{\pi a^2 P_1} = 0,93 \text{ m}$

Attention aux unités : P en Pa et T en K !

3. Densité particulaire $n_1^* = \frac{N}{V_1} = \frac{N}{\pi a^2 h_1} = 2,5 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$

4. Gaz parfait polyatomique à une température usuelle : $U_1 = \frac{5}{2} nRT_1 = 1,8 \text{ kJ}$

5. Transformation : compression monotherme et monobare

- État d'équilibre final : P_2, T_2, V_2, n

- Équilibre thermique (parois diathermes) : $\theta_2 = \theta_e = 20^\circ\text{C}$ et $T_2 = T_e = 293 \text{ K}$

- Équilibre mécanique : $P_2 = P_{ext} = P_e + \frac{mg}{S} = P_e + \frac{mg}{\pi a^2} = 1,1 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,1 \text{ bar}$

- Équation d'état du GP : $P_2 V_2 = nRT_2 \Leftrightarrow \pi a^2 h_2 = \frac{nRT_2}{P_2} \Leftrightarrow h_2 = \frac{nRT_2}{\pi a^2 P_2} = 0,83 \text{ m}$

6. GP vérifie la 1^{ère} loi de Joule : l'énergie interne ne dépend que de la température. Comme $T_2 = T_1$, $U_2 = U_1$: l'énergie interne n'a pas varié.

7. Travail des forces de pression : $W_{1 \rightarrow 2} = - \int_{V_1}^{V_2} P_{ext} dV$

- Transformation monobare : $P_{ext} = cste = P_2$

$$W_{1 \rightarrow 2} = - \int_{V_1}^{V_2} P_2 dV = -P_2 (V_2 - V_1) \text{ soit } W_{1 \rightarrow 2} = P_2 \pi a^2 (h_1 - h_2) = 91 \text{ J}$$

- Signe du travail : $W_{1 \rightarrow 2} > 0$: le gaz reçoit du travail de la part de l'extérieur, ce qui est cohérent avec le fait qu'il subisse une compression.

8. 1^{er} principe : $\Delta U_{12} = W_{1 \rightarrow 2} + Q_{1 \rightarrow 2}$ et $\Delta U_{12} = U_2 - U_1 = 0$

$$Q_{1 \rightarrow 2} = -W_{1 \rightarrow 2} = -P_2 \pi a^2 (h_1 - h_2) = -91 \text{ J}$$

- Signe de la quantité de chaleur : $Q_{1 \rightarrow 2} < 0$: le gaz fournit de l'énergie thermique à l'extérieur

9. Transformation quasi-statique : compression isotherme

- État d'équilibre final : P_3, T_3, V_3, n

Équilibre thermique (parois diathermes) : $\theta_3 = \theta_e = 20 \text{ °C}$ et $T_3 = T_e = 293 \text{ K}$

Équilibre mécanique : $P_3 = P_e + \frac{mg}{\pi a^2} = P_2 = 1,1 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,1 \text{ bar}$

Équation d'état du GP (idem question 5) : $h_3 = h_2 = \frac{nRT_3}{\pi a^2 P_3} = 0,83 \text{ m}$

- Idem question 6 : $T_3 = T_1, U_3 = U_1$: l'énergie interne n'a pas varié.

- Travail des forces de pression : $W_{1 \rightarrow 3} = -\int_{V_1}^{V_3} P_{ext} dV$

TQS : $P_{ext} = P$, équation d'état du GP : $P = \frac{nRT_3}{V}$ et transformation isotherme

$$W_{1 \rightarrow 3} = -\int_{V_1}^{V_3} \frac{nRT_3}{V} dV = -nRT_3 \ln\left(\frac{V_3}{V_1}\right) \text{ soit } W_{1 \rightarrow 3} = nRT_3 \ln\left(\frac{h_1}{h_3}\right) = 86 \text{ J}$$

On retrouve : $W_{1 \rightarrow 3} > 0$: le gaz reçoit du travail de la part de l'extérieur.

- Quantité de chaleur : 1^{er} principe : $\Delta U_{13} = W_{1 \rightarrow 3} + Q_{1 \rightarrow 3}$ et $\Delta U_{13} = U_{23} - U_1 = 0$

$$Q_{1 \rightarrow 3} = -W_{1 \rightarrow 3} = -nRT_3 \ln\left(\frac{h_1}{h_3}\right) = -86 \text{ J}$$

On retrouve : $Q_{1 \rightarrow 3} < 0$: le gaz fournit de l'énergie thermique à l'extérieur

10. Transformation adiabatique : pas d'échange d'énergie thermique : $Q = 0$

11. État d'équilibre final : P_4, T_4, V_4, n

Équilibre mécanique : $P_4 = P_e + \frac{mg}{\pi a^2} = 1,1 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,1 \text{ bar}$

Équation d'état du GP : $P_4 V_4 = nRT_4 \Leftrightarrow T_4 = \frac{P_4 \pi a^2 h_4}{nR} = 303 \text{ K}$ soit $\theta_4 = 30 \text{ °C}$

12. Variation d'énergie interne : $\Delta U_{14} = U_4 - U_1 = \frac{5}{2} nR(T_4 - T_1) = 62 \text{ J}$

- Transformation monobare : $P_{ext} = cste = P_2 = P_4$

$$W_{1 \rightarrow 4} = -\int_{V_1}^{V_4} P_4 dV = -P_4 (V_4 - V_1) \text{ soit } W_{1 \rightarrow 4} = P_4 \pi a^2 (h_1 - h_4) = 62 \text{ J}$$

- On constate que $\Delta U_{14} = U_4 - U_1 = W_{1 \rightarrow 4}$: vérification du 1^{er} principe de la thermodynamique : $\Delta U_{14} = W_{1 \rightarrow 4} + Q$