

DM7 : TH3 – Premier Principe

Exercice 1 : Transfert thermiques – Phases Condensées

Présentation - Propriété des phases condensées :

Les solides et les liquides sont des quasi incompressibles. On parle alors de phase condensée, et on peut supposer que leur volume V est quasiment constant. En outre, ce volume est toujours très faible devant le volume du gaz correspondant, et on constate que les variations du produit PV sont faibles devant celle de l'énergie interne U .

Ainsi :
$$\Delta H = \Delta(U + PV) \approx \Delta U \quad (\text{phase condensée})$$

On peut donc identifier les capacités thermiques : $C_V \approx C_P \approx C$ (phase condensée)

Conclusion :

Pour une phase condensée,

$$\begin{cases} C_V \approx C_P \approx C \\ \delta Q \approx dU \approx dH \approx C dT \\ \delta W \approx 0 \end{cases}$$

1. Vérification des hypothèses :

Soit la transformation de $m = 1\text{kg}$ d'eau liquide de l'EI ($T_0=373\text{K}$, $P_0=1\text{bar}$) à l'EF ($T_f=485\text{K}$, $P_f=20\text{bar}$). Les tables nous donnent :

→ Volume massique de l'eau : $v_0 = 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ et $v_f = 1,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$.

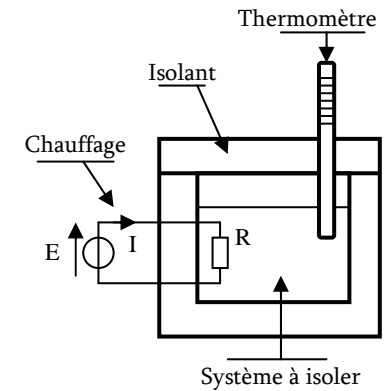
→ Capacité thermique massique de l'eau (supposée constante) : $c = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

- 1.1 Calculer la variation du produit PV entre l'EI et l'EF.
- 1.2 Calculer la variation d'énergie interne.
- 1.3 Quelle erreur relative commet-on en confondant ΔU et ΔH ? Est-ce satisfaisant ?

2. Echauffement par une résistance électrique :

On place une masse $m = 200\text{g}$ d'eau dans un calorimètre. Un calorimètre est un dispositif qui isole le système de l'extérieur, comme représenté sur le dessin ci-contre. Il est en général constitué d'un simple isolant, par exemple du polystyrène (bouteille thermos) ou mieux, de vide. Si le calorimètre est parfait, on peut supposer qu'il n'y a aucun échange de chaleur avec l'extérieur. On y place un thermomètre pour suivre l'évolution de la température du système, et on suppose que la pression est toujours égale à la pression atmosphérique extérieure.

Une résistance est également placée dans le calorimètre pour réchauffer l'eau. On suppose que cette résistance apporte de l'énergie par l'intermédiaire de l'effet Joule. Cette énergie peut soit être considérée comme un travail électrique δW_{elec} ou une chaleur δQ_{Joule} , ce qui est rigoureusement équivalent.



- 2.1 Par un bilan d'énergie, et en supposant le calorimètre comme parfait, justifier l'expression : $CdT \approx RI^2 dt$, où C est la capacité thermique du système étudié.
- 2.2 En déduire l'expression de la température en fonction du temps.
- 2.3 On mesure le tableau suivant. On note à partir de maintenant la température θ pour ne pas confondre avec le temps t . Tracer la courbe $\theta = f(t)$.

t (min)	0	1	2	3	4	5	6	7
θ (K)	293	304	316	327	339	350	362	373

- 2.4 En sachant que $R = 2\Omega$ et que I est fixé à 10A , déterminer la valeur de la capacité thermique C du système étudié.
- 2.5 En supposant l'eau est parfaitement isolée (pas de chaleur absorbée par le calorimètre), calculer la capacité thermique massique de l'eau ?
- 2.6 On connaît en fait la capacité thermique massique de l'eau : $c = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Expliquer les différences par rapport aux valeurs mesurées, le système étudié n'est-il constitué que de l'eau ? Calculer la capacité thermique C_{cal} du calorimètre.
- 2.7 On définit la masse équivalente μ en eau du calorimètre comme la masse d'eau qui aurait la même capacité thermique que la capacité C_{cal} du calorimètre. Calculer la valeur de μ .
- 2.8 On donne la capacité thermique massique de l'air sec : $c \approx 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Que peut-on dire de l'air contenu dans le calorimètre au dessus du liquide ?

3. Application à une cafetière électrique :

Pour préparer un café, une cafetière doit porter la quantité d'eau correspondant à une tasse ($V = 10\text{mL}$) à la température d'ébullition ($T = 373\text{K}$) en 30 secondes.

- 3.1. Quelle puissance doit avoir la résistance de chauffe (on supposera que 50% de l'énergie électrique est transmise au liquide initialement à 293K).

4. Refroidissement d'un métal :

On cherche à refroidir une barre de fer de $m_{fer} = 100g$ initialement à $T_{fer} = 353K$ en la plongeant dans un volume $V_{eau} = 200g$ d'eau froide à température ambiante $T_0 = 293K$. L'opération se fait dans le même calorimètre qui a été utilisé pour les questions précédentes (on prend la même valeur de la masse équivalente en eau $\mu \approx 52g$). On suppose que l'équilibre se fait rapidement jusqu'à la température T_f et qu'il n'y a pas d'échanges de chaleur avec l'extérieur.

4.1. Faire un bilan d'énergie pour le système eau + calorimètre + barre de fer.

4.2. En déduire la relation
$$T_f \approx \frac{(m_{eau} + \mu)c_{eau}T_0 + m_{fer}c_{fer}T_{fer}}{(m_{eau} + \mu)c_{eau} + m_{fer}c_{fer}}$$

4.3. Calculer la température finale T_f du mélange. On donne pour cela les capacités thermiques de l'eau et du fer qui sont connues :
$$\begin{cases} c_{eau} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \\ c_{fer} = 444 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \end{cases}$$

4.4. Le résultat est-il surprenant ? Quel est l'élément qui absorbe le plus d'énergie pour une variation de température moindre ?

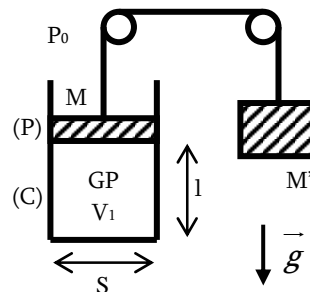
Exercice 2 : Transformations adiabatiques

1. Présentation du système

On place une certaine masse de gaz parfait dans un cylindre C d'axe vertical, de section droite constante $S = 16 \text{ cm}^2$, comme représenté sur la figure suivante. Un piston de masse $M = 48kg$, mobile sans frottement, isole ce gaz dans une colonne cylindrique de longueur l . C et P sont isolés thermiquement.

La masse M est reliée à une autre masse M' de valeur variable (initialement $M' = M$) à l'aide d'une corde passant par 2 poulies. Ce système mécanique est sans frottements.

Pour le gaz parfait étudié, on a le rapport $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5}$.



1.1. Lorsque $M' = M$ (état initial), que peut-on dire de la pression P_1 du GP ?

1.2. A l'état initial, on donne $l = l_1 = 1m$, $T_1 = 300K$. On prend pour valeur $P_0 = 1 \text{ bar}$. Quel est le volume du gaz contenu dans le cylindre ?

2. Evolution adiabatique réversible

En diminuant progressivement la masse M' de M à 0, l'opérateur qui soulève M' réalise une compression adiabatique infiniment lente de ce gaz qui atteint un nouvel état d'équilibre (P_2, V_2, T_2)

2.1. Calculer les valeurs de P_2, V_2 , et T_2 . (bien préciser les hypothèses)

2.2. Calculer le travail effectué par le gaz pendant cette transformation (en fonction des pressions, des volumes et de γ). Connaît-on l'expression de P_{gaz} à tout instant ?

Remarque : Calcul d'un travail

Il y a toujours plusieurs méthodes pour calculer un travail

→ Calcul direct à partir de l'expression $\delta W = -P_{ext} \cdot dV$

Possible lorsque les pression et volume sont connus
Très utile surtout à pression constante

→ Calcul à partir du diagramme de Clapeyron (P, V)

Lorsque celui-ci est disponible

→ Calcul à partir du premier principe $\delta W = dU - \delta Q$

Pratique dans le cas adiabatique $\delta Q = 0$, on a alors pour le GP : $dU = C_v dT$. Dans les autres cas, on ne peut pas exprimer la chaleur Q et on ne peut rien en faire.

2.3. Calculer les variations d'énergie interne et d'enthalpie qui accompagnent cette compression (on exprimera ΔH en fonction de ΔU et de γ)

3. Evolution adiabatique NON réversible

On remet le gaz dans les conditions de l'équilibre 1 (P_1, V_1, T_1) avec les masses précédentes M et M' à l'équilibre. On brûle alors le fil. Après quelques oscillations négligeables du piston, un nouvel état d'équilibre 3 s'établit : (P_3, V_3, T_3).

3.1. Peut-on calculer directement cette fois les valeurs de P_3, V_3 , et T_3 comme au 2 ?

3.2. En exprimant le travail des forces de pression de deux manières, établir la relation donnant T_3 en fonction de T_1, P_1, P_3 et de γ .

3.3. Calculer les valeurs de P_3, V_3 , et T_3 .

3.4. Calculer les variations d'énergie interne et d'enthalpie lors de cette compression.

3.5. Comparer les valeurs des 2 cas et conclure.