

TD TH2 - Premier principe, bilan d'énergie.

Table des matières

1	Influence du chemin de la transformation	1
2	Transformation cyclique d'un gaz parfait	2
3	Chauffage d'un gaz parfait	2
4	Compression isotherme et monotherme d'un gaz parfait	2
5	Compression suivie d'une détente	3
6	Détente brutale d'un gaz parfait	3
7	Chauffage par une résistance électrique	4
8	Calorimétrie : mesure de la capacité thermique d'un métal	4
9	Méthode électrique en calorimétrie	5
10	Fusion de la glace	5
11	Équilibre eau-glace	5
12	Mesure d'une chaleur latente de fusion	5

1 Influence du chemin de la transformation

Une mole de dioxygène, assimilé à un gaz parfait de coefficient $\gamma = 1,4$, passe d'un volume $V_1 = 10 \text{ L}$ à la température $\theta_1 = 25^\circ\text{C}$ à un volume $V_2 = 20 \text{ L}$ à la température $\theta_2 = 100^\circ\text{C}$.

1.1. Calculer la capacité thermique molaire à volume constant $C_{V,mol}$ du dioxygène. Donnée : $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1.2. La détente s'effectue par un chauffage isochore suivi d'une détente isotherme.

— Représenter le chemin suivi dans le diagramme de Clapeyron.

— Calculer le transfert thermique Q et le travail W échangés par le gaz avec l'extérieur.

1.3. La détente s'effectue maintenant par une détente isotherme suivie d'un chauffage isochore.

— Représenter le chemin suivi dans le diagramme de Clapeyron.

— Calculer le transfert thermique Q' et le travail W' échangés par le gaz avec l'extérieur.

1.4. Que remarque-t-on concernant les sommes $W + Q$ et $W' + Q'$? Interpréter.

2 Transformation cyclique d'un gaz parfait

Une mole de gaz parfait diatomique $\gamma = 1,4$ subit la transformation cyclique constituée des étapes suivantes :

- à partir des conditions normales $P_0 = 1 \text{ bar}$ et $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$, un échauffement isobare fait tripler son volume, sa température atteint alors θ_1 ;
- une compression isotherme lui fait retrouver son volume initial, sa pression est alors P_1 ;
- un refroidissement isochore le ramène à l'état initial.

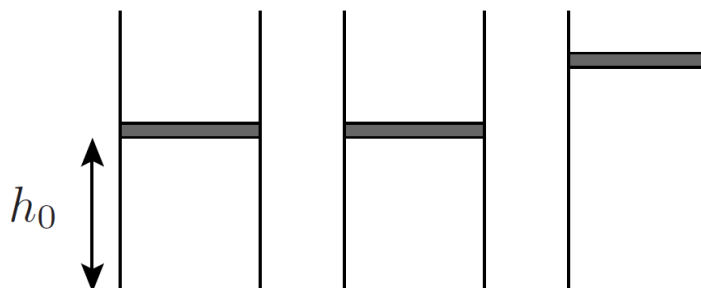
2.1. Représenter le cycle suivi dans le diagramme de Clapeyron.

2.2. Calculer pour chaque étape, avec trois chiffres significatifs, le transfert thermique Q échangé, le travail W échangé ainsi que les variations ΔU d'énergie interne et ΔH d'enthalpie.

2.3. Calculer W_{tot} et Q_{tot} sur le cycle complet, ainsi que ΔU_{tot} et ΔH_{tot} sur ce cycle.

3 Chauffage d'un gaz parfait

On enferme $n = 0,1 \text{ mol}$ d'azote, de coefficient $\gamma = 1,4$, dans un cylindre thermostaté à $\theta_0 = 27^\circ\text{C}$, fermé par un piston mobile sans frottement de section $S = 100 \text{ cm}^2$. La pression atmosphérique est $P_0 = 1 \text{ bar}$. On néglige la force pressante due au poids du piston devant la force pressante atmosphérique.



3.1. Calculer la hauteur h_0 occupée par le gaz dans le cylindre.

3.2. Le piston étant bloqué, on élève la température du thermostat à $\theta_1 = 50^\circ\text{C}$. Calculer le travail W et le transfert thermique Q échangés par le gaz.

3.3. En repartant de l'état initial, on élève à nouveau la température jusqu'à θ_1 , mais en laissant libre le piston. Calculer le travail W' et le transfert thermique Q' échangés par le gaz.

4 Compression isotherme et monotherme d'un gaz parfait

Un gaz parfait est contenu dans un cylindre clos par un piston. La température initiale du gaz est égale à la température extérieure $T_1 = 293 \text{ K}$, sa pression est $P_1 = 1 \text{ atm}$ et son volume est $V_1 = 5 \text{ L}$. On néglige le poids du cylindre devant la force pressante due à l'atmosphère. Les parois du cylindre et le piston sont de bons conducteurs de la chaleur.

4.1. On appuie lentement sur le piston, de manière à assurer à chaque instant l'équilibre thermique entre le gaz et l'extérieur, jusqu'à ce que le gaz atteigne la pression $P_2 = 10 \text{ atm}$.

Calculer le volume final V_2 occupé par le gaz, sa variation d'énergie interne ΔU ainsi que le travail W et le transfert thermique Q échangés.

4.2. On applique d'un seul coup une surpression extérieure, par exemple en posant une masse sur le piston, de telle sorte que la pression extérieure, passe brusquement de la valeur P_1 à la valeur P_2 . On attend qu'un état d'équilibre thermique se réinstalle avec l'extérieur.

Calculer le volume final V_2' occupé par le gaz, sa variation d'énergie interne $\Delta'U$ ainsi que le travail W' et le transfert thermique Q' échangés.

5 Compression suivie d'une détente

Une mole de gaz parfait diatomique est initialement dans les conditions $P_0 = 1,00$ bar et $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$. On réalise une compression adiabatique quasi-statique de ce gaz, qui diminue son volume de moitié. On note (P_1, θ_1) la pression et la température dans cet état. Puis on détend de manière quasi-statique et isotherme le gaz, de manière à lui faire retrouver son volume initial.

5.1. Représenter les chemins suivis lors des transformations dans le diagramme de Clapeyron.

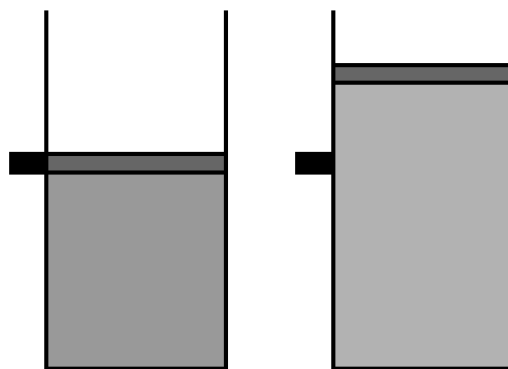
5.2. Calculer P_1 et θ_1

5.3. Calculer la pression finale P_2 à la fin de la détente.

5.4. Exprimer puis calculer les travaux et les transferts thermiques échangés par le gaz lors des deux transformations.

6 Détente brutale d'un gaz parfait

Un gaz parfait, de coefficient γ , est contenu dans un cylindre muni d'un piston, l'ensemble étant calorifugé. La pression extérieure est P_0 . Dans l'état initial, le piston est bloqué et le gaz est comprimé sous la pression $P_1 > P_0$, occupant le volume V_1 à la température T_1 . On libère le piston et on laisse le système atteindre un nouvel état d'équilibre. On pose $x = \frac{P_0}{P_1}$.



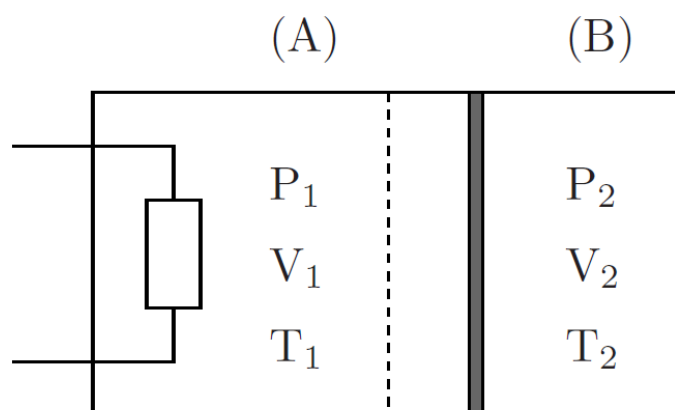
6.1. Exprimer la température T_2 du gaz à l'équilibre, en fonction de γ , x et T_1 .

6.2. Comparer T_2 à T_1 .

6.3. Exprimer le volume V_2 du gaz à l'équilibre, en fonction de γ , x et V_1 .

7 Chauffage par une résistance électrique

Un cylindre horizontal indilatable est séparé en deux compartiments (A) et (B) par un piston d'épaisseur négligeable devant la longueur du cylindre et mobile sans frottement. Les parois du cylindre et le piston sont calorifugés. Dans l'état initial, les deux compartiments contiennent une même quantité d'air, assimilé à un gaz parfait de coefficient $\gamma = 1,4$, dans les mêmes conditions de température $T_0 = 293\text{ K}$ et de pression $P_0 = 1\text{ bar}$, et occupant le même volume $V_0 = 1000\text{ L}$. Une résistance électrique traversant le compartiment (A) permet de chauffer lentement le gaz le contenant jusqu'à ce que sa pression soit $P_1 = 3\text{ bar}$.



7.1. Dans l'état d'équilibre thermodynamique final, exprimer puis calculer les paramètres d'état (P_2 , V_2 , T_2) pour le gaz dans le compartiment (B) ainsi que les paramètres (V_1 , T_1) pour le gaz dans le compartiment (A).

7.2. Montrer que le transfert thermique Q_1 échangé par le gaz dans le compartiment (A) s'écrit

$$Q_1 = \Delta U_1 + \Delta U_2$$

où U_1 et U_2 sont les énergies internes des gaz dans les compartiments respectifs (A) et (B).

7.3. Exprimer Q_1 en fonction de P_0 , V_0 et γ . Le calculer.

8 Calorimétrie : mesure de la capacité thermique d'un métal

Un calorimètre et ses accessoires (agitateur, thermomètre...) possède une capacité calorifique C . On donne la capacité calorifique massique de l'eau $c_e = 4,18\text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

8.1. Le calorimètre contenant une masse d'eau $M = 95\text{ g}$ d'eau à la température $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$, on lui ajoute une masse $m = 71\text{ g}$ d'eau à la température $\theta_2 = 50^\circ\text{C}$. Après quelques instants, la température d'équilibre observée est $\theta_f = 31,3^\circ\text{C}$.

En déduire la valeur de la capacité thermique C du calorimètre. Calculer la masse en eau μ équivalente au calorimètre.

8.2. Le même calorimètre contient maintenant $M' = 100\text{ g}$ d'eau à $\theta'_1 = 15^\circ\text{C}$. On y plonge un échantillon métallique de masse $m' = 25\text{ g}$ qui sort d'une étuve à $\theta'_2 = 95^\circ\text{C}$. La température d'équilibre est $\theta'_f = 16,7^\circ\text{C}$.

Calculer la capacité calorifique massique c du métal, supposée constante, dans ce domaine de température.

9 Méthode électrique en calorimétrie

On désire mesurer la capacité thermique totale C d'un calorimètre et de son contenu (eau et accessoires). On plonge pour cela une résistance chauffante $R = 250 \, \Omega$ dans l'eau du calorimètre (valeur supposée indépendante de la température). On fait circuler un courant électrique d'intensité $I = 0,5 \, \text{A}$ pendant $\Delta t = 13 \, \text{min}$, tout en homogénéisant. On constate que la température de l'ensemble passe de $\theta_0 = 14^\circ\text{C}$ à $\theta_1 = 16^\circ\text{C}$.

9.1. En déduire l'expression puis la valeur de C .

10 Fusion de la glace

Une masse $M_S = 1,00 \, \text{kg}$ de glace, initialement à la température $\theta_1 = -20^\circ\text{C}$, est placée au contact d'un thermostat de température $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$. En fin de transformation, la masse M_S est entièrement liquide. On donne :

$\ell_f(P_0 = 1 \, \text{bar}, \theta_0) = 334 \, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ chaleur latente massique de fusion de la glace

$c_g = 2,09 \, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ capacité thermique de la glace (supposée constante)

$c_e = 4,18 \, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ capacité thermique de l'eau liquide (supposée constante)

10.1. Calculer la variation d'enthalpie ΔH de la masse M_S au cours de cette évolution.

11 Équilibre eau-glace

Un calorimètre thermiquement isolé et de capacité thermique négligeable contient une masse $M_L = 1,00 \, \text{kg}$ d'eau liquide, initialement à la température $\theta_2 > \theta_0 = 0^\circ\text{C}$. Une masse $M_S = 1,00 \, \text{kg}$ de glace, initialement à la température $\theta_1 = -20^\circ\text{C}$, est ajoutée dans le calorimètre. On donne :

$\ell_f(P_0 = 1 \, \text{bar}, \theta_0) = 334 \, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ chaleur latente massique de fusion de la glace

$c_g = 2,09 \, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ capacité thermique de la glace (supposée constante)

$c_e = 4,18 \, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ capacité thermique de l'eau liquide (supposée constante)

11.1. Déterminer et calculer la température minimale θ_{2min} de la masse M_L d'eau liquide pour laquelle, à l'équilibre, toute l'eau est sous forme liquide.

12 Mesure d'une chaleur latente de fusion

Un calorimètre, de capacité thermique $C = 84 \, \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$, contient une masse $m_1 = 530 \, \text{g}$ d'eau liquide à la température $\theta_1 = 25^\circ\text{C}$. On y introduit une masse $m_2 = 49 \, \text{g}$ de glace à la température $\theta_2 = 0^\circ\text{C}$. La température d'équilibre mesurée est $\theta_f = 16,5^\circ\text{C}$.

Donnée : $c_e = 4,18 \, \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ capacité thermique de l'eau liquide (supposée constante)

12.1. Exprimer puis calculer la chaleur latente de fusion ℓ_f de l'eau, sous la pression atmosphérique.