

Feuille d'exercices n°24 :
Premier principe de la thermodynamique

1 - Transformations d'un gaz parfait

Exercice 1 : Détente de diazote : (d'après CCP PC 2006)

Le diazote est assimilé à un gaz parfait diatomique.

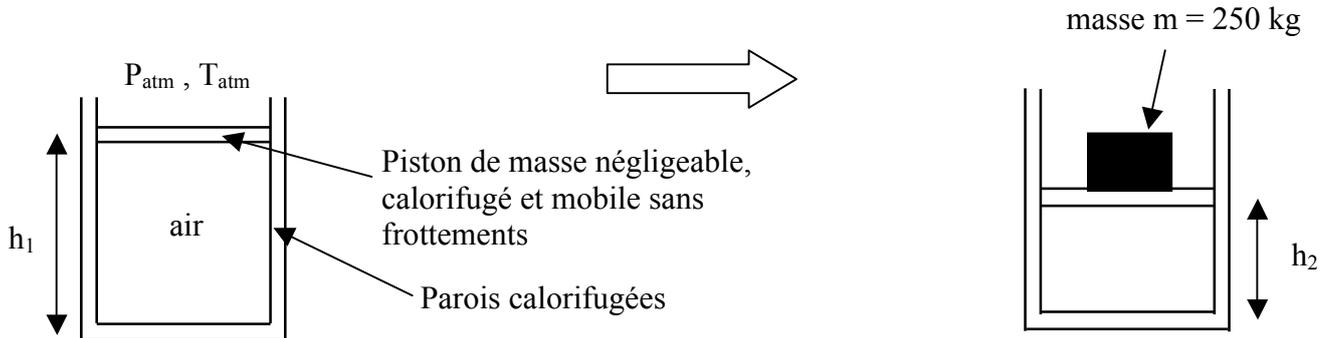
Données : Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Pour un gaz parfait diatomique, on prendra $\gamma = \frac{C_{pm}}{C_{vm}} = 1,40$.

Une mole de diazote N_2 préalablement comprimée à la pression de 50 bar et à la température $T_i = 25^\circ\text{C}$ subit une détente adiabatique brutale et irréversible. La détente s'effectue contre une pression extérieure constante $P_e = 1 \text{ bar}$. En fin de détente, la pression du gaz est de $P_e = 1 \text{ bar}$.

- 1) Calculer la température T_f du gaz en fin de détente, en degrés Celsius.
- 2) Comparer la température obtenue à la température T'_f que l'on aurait obtenue avec une détente adiabatique réversible de 50 bar à 1 bar.

Exercice 2 : Compression d'air :

Un cylindre vertical de section $S = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ est fermé par un piston horizontal de masse négligeable, se déplaçant sans frottement.



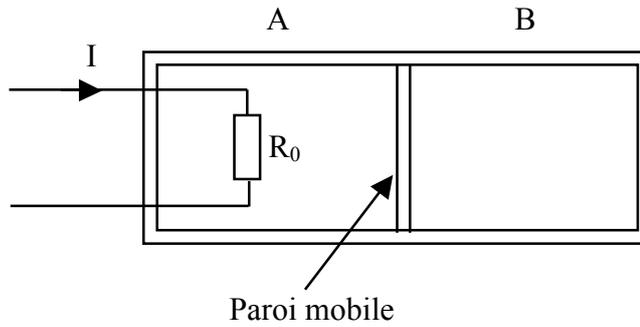
Le cylindre contient $n = 0,20$ moles d'air, initialement à la température $T_1 = T_{\text{atm}}$ et à la pression $P_1 = P_{\text{atm}}$, où $T_{\text{atm}} = 300 \text{ K}$ et $P_{\text{atm}} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ sont la température et la pression extérieures, supposées constantes.

Le système est calorifugé.

L'air est considéré comme un gaz parfait diatomique, de coefficient $\gamma = C_p/C_v = 1,4$ et on rappelle la valeur de la constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$. On prendra $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ pour l'accélération de la pesanteur.

- 1) Calculer le volume initial V_1 de l'air et la hauteur initiale h_1 du piston.
On pose brusquement une masse $m = 250 \text{ kg}$ sur le piston.
- 2) Calculer, une fois l'équilibre atteint, la pression P_2 de l'air dans le cylindre, sa température T_2 , le volume V_2 et la hauteur du piston h_2 .
- 3) Au lieu de poser la masse m d'un seul coup sur le piston, on la découpe en très petits morceaux que l'on pose l'un après l'autre (de manière à ce que l'évolution se fasse de manière réversible). Combien valent dans ce cas la pression, température, volume et la hauteur finales (on les notera P_3 , T_3 , V_3 et h_3).

Exercice 3 : Récipient muni d'une paroi mobile : (d'après ICNA 2002)



Un récipient à parois rigides et calorifugées contient deux gaz parfaits diatomiques séparés par une paroi intérieure mobile sans frottements et calorifugée.

Initialement, les gaz sont dans le même état caractérisé par les paramètres $P_1 = 10^5$ Pa, $V_1 = 1$ L et $T_1 = 300$ K.

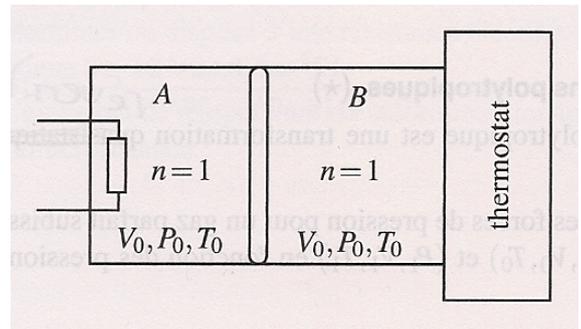
Un générateur fournit de l'énergie au gaz A par l'intermédiaire d'une résistance $R_0 = 10 \Omega$, de capacité thermique négligeable, parcourue par un courant continu $I = 1$ A, pendant une durée τ au bout de laquelle le volume du gaz A atteint la valeur $V_A = 1,1$ L. L'évolution est supposée réversible.

Données : $R = 8,31$ J.K⁻¹.mol⁻¹ et $\gamma = c_p/c_v = 1,4$.

- 1) Calculer la pression finale P_2 dans les deux compartiments.
- 2) Calculer la température finale T_B du gaz dans le compartiment B.
- 3) Calculer la température finale T_A du gaz dans le compartiment A.
- 4) Calculer le transfert thermique Q_A reçu par le gaz en A. En déduire τ .
- 5) Calculer le travail W_B reçu par le gaz en B.

Exercice 4 : Chauffage d'une enceinte :

On étudie le système ci-contre, où on suppose que les enceintes contiennent des gaz parfaits et que l'enceinte A est parfaitement calorifugée. On note $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$. On chauffe l'enceinte A jusqu'à la température T_1 par la résistance chauffante. Les transformations seront considérées comme quasi-statiques.



- 1) Déterminer les volumes finaux des deux enceintes, ainsi que la pression finale.
- 2) Calculer la variation d'énergie interne de chacune des enceintes A et B ainsi que celle de l'ensemble (A+B).
- 3) Quelle est la nature de la transformation de l'enceinte B ? En déduire le travail échangé entre les enceintes A et B et le transfert thermique Q_1 échangé entre B et le thermostat.
- 4) Déterminer le transfert thermique Q_2 fourni par la résistance.

Exercice 5 : Transformations polytropiques :

Une transformation polytropique est une transformation réversible vérifiant $PV^k = cte$.

- 1) Calculer le travail des forces de pression pour un gaz parfait subissant une transformation polytropique entre (P_0, V_0, T_0) et (P_1, V_1, T_1) en fonction des pressions et volumes ainsi que de k.

Exercice 7 : Détente de Joule et Gay-Lussac :

AU XIX^{ème} siècle, Joule et Gay-Lussac imaginaient le dispositif suivant pour étudier les propriétés des gaz réels. Deux compartiments aux parois calorifugées et indéformables communiquent par un robinet. Ce robinet, initialement fermé, sépare le compartiment 1, de volume V_1 , initialement rempli de n moles de gaz en équilibre à la température T_1 , du compartiment 2, de volume V_2 , dans lequel on a fait le vide. On ouvre le robinet et on attend l'établissement d'un nouvel équilibre caractérisé par la température T_F du gaz.

- 1) Montrer que l'énergie interne U du gaz ne varie pas au cours de la transformation.
- 2) Déterminer la température finale T_F dans le cas où le gaz subissant la détente est supposé parfait.
- 3) Supposons maintenant que l'expérience est réalisée avec de l'Argon, assimilé à un gaz réel de Van der Waals d'énergie interne $U = nC_{V,m}T - \frac{na^2}{V}$, avec $C_{V,m} = 12 J.K^{-1}.mol^{-1}$ et a une constante positive caractéristique du gaz étudié.
 - a) Nommer la constante $C_{V,m}$ et donner son interprétation physique.
 - b) Expérimentalement, on constate que la température du gaz diminue au cours de la détente : $\Delta T = T_F - T_1 = -5,4K$ pour $V_1 = V_2 = 1L$ et $n = 1,0$ mol. En déduire la valeur du coefficient a de l'argon.

Exercice 8 : Compression d'un gaz de Van der Waals :

On considère un gaz réel obéissant à l'équation de Van der Waals : $\left(P + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT$ (où V_m est le volume molaire).

- 1) Calculer le travail reçu par une mole de gaz au cours d'une compression isotherme à T_0 faisant passer le gaz de V_{m1} à V_{m2} .
- 2) a) Donner une expression approchée de ce travail aux faibles densités (c'est à dire pour $b \ll V_m$). On mettra en évidence dans le résultat le terme correctif par rapport au travail qui serait reçu par le gaz parfait correspondant et on pourra utiliser le développement limité $\ln(1 + x) \approx x$ pour $x \ll 1$.
b) En déduire qu'il existe une température, appelée température de Mariotte, pour laquelle le gaz réel se comporte comme un gaz parfait.
c) Vérifier que pour cette température, l'isotherme correspondante dans le diagramme d'Amagat admet une tangente horizontale.

3 - Calorimétrie

La calorimétrie est, comme son nom l'indique, la branche de la thermodynamique qui s'intéresse à la mesure des quantités de chaleur. En particulier, c'est par des expériences de calorimétrie que l'on mesure les capacités thermiques, les chaleurs latentes (ou « enthalpies massiques de changement d'état »), etc...

Pour cela, on utilise un calorimètre : il s'agit d'une enceinte calorifugée : il n'y a donc pas d'échanges de chaleur avec l'extérieur. Pour la plupart des calorimètres, la pression à l'intérieur est constante et égale à la pression atmosphérique. Les transformations à l'intérieur du calorimètre sont donc isobares.

Pour faire des mesures de calorimétrie, il est nécessaire de connaître la capacité thermique du calorimètre lui-même (sauf si elle est négligeable). Pour cela, on donne souvent la « masse équivalente en eau » du calorimètre (notée m_{eq}): c'est la masse d'eau qui aurait la même capacité thermique que la calorimètre. Autrement dit, on a $C_{calorimètre} = m_{eq} C_{eau}$.

Exercice 9 :

On mélange 95 g d'eau à 20°C et 71 g d'eau à 50°C dans un calorimètre.

- 1) Quelle est la température finale à l'équilibre, si on néglige l'influence du calorimètre ?
- 2) Expérimentalement, on mesure une température de 31,3°C. Expliquer.
- 3) En déduire la valeur en eau du calorimètre.

Exercice 10 :

Dans un calorimètre de capacité thermique négligeable, on place 100 mL d'eau, initialement à $T_{eau} = 20^\circ\text{C}$ et une masse $m_{fer} = 50\text{ g}$ de Fer initialement à $T_{fer} = 90^\circ\text{C}$.

- 1) Sachant que la transformation est isobare, quelle fonction d'état allez-vous utiliser ?
- 2) Calculer la température finale T_f du système (vous donnerez une expression littérale puis une valeur numérique en °C).

Données : capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{eau} = 4,18\text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$
capacité thermique massique du fer solide : $c_{fer} = 0,450\text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Exercice 11 : Mesure de la chaleur latente de fusion de la glace :

On cherche à mesurer l'enthalpie massique de fusion de la glace (notée L_f) à l'aide d'un calorimètre de masse équivalente en eau $m_{eq} = 30\text{ g}$.

Pour cela, on place dans le calorimètre 100 mL d'eau à température ambiante $T_{atm} = 25^\circ\text{C}$ et un glaçon de masse $m_g = 30\text{ g}$ (que l'on a pris d'un bac où de l'eau et de la glace coexistent).

Une fois l'équilibre atteint, on mesure la température finale du système, qui est de $T_f = 5,4^\circ\text{C}$.

En déduire L_f , sachant que $c_{eau} = 4,18\text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Exercice 12 : Détermination de la chaleur massique du cuivre :

Dans un calorimètre dont la valeur en eau est de 41 g, on verse 100 g d'eau. Une fois l'équilibre thermique atteint, on mesure une température de 20°C. On plonge alors une barre de cuivre dont la masse est 200 g et dont la température initiale est de 60°C. A l'équilibre, on mesure une température de 30°C. En déduire la capacité thermique massique du cuivre, sachant que la capacité thermique massique de l'eau est $c_{eau} = 4,18\text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Exercice 13 : Thermoplongeur de voyage :



On considère un thermoplongeur de voyage, constitué d'un serpentin métallique fournissant par effet Joule une puissance thermique constante $P_{th} = 300W$.

On souhaite utiliser ce thermoplongeur pour chauffer à l'air libre une masse $m = 200\text{ g}$ d'eau liquide, initialement à la température $T_0 = 293\text{ K}$ (soit 20°C), contenue dans une tasse de capacité thermique négligeable.

On négligera les transferts thermiques avec l'air environnant.

- 1) Calculer le temps τ_1 au bout duquel l'eau se met à bouillir.
- 2) Calculer le temps τ_2 au bout duquel la moitié de l'eau s'est vaporisée.

Données : Capacité thermique de l'eau liquide : $c = 4,18\text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Enthalpie massique de vaporisation de l'eau liquide à 100°C : $\Delta_{vap}h = 2,25\cdot 10^3\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

Exercice 14 : Variation des fonctions d'état :

Une masse $m = 1,00\text{ kg}$ d'éther liquide est entièrement vaporisée à la température constante de $34,6^\circ\text{C}$ sous la pression de vapeur saturante $P_{sat} = 1,01\text{ bar}$. L'éther gazeux est assimilé à un gaz parfait, et on néglige le volume du liquide devant celui du gaz.

Calculer la variation d'enthalpie et la variation d'énergie interne de l'éther.

Données : Constante des gaz parfaits : $R = 8,31\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$

Enthalpie massique de vaporisation de l'éther : $\Delta_{vap}h = 377\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ à $34,6^\circ\text{C}$

Masse molaire de l'éther : $M = 74,1\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Exercice 15 : Fusion de glaçons dans un verre d'eau :

On introduit deux glaçons de 10 g chacun, initialement à -19°C , dans un verre contenant 250 mL d'eau initialement à 25°C . On néglige les échanges thermiques avec l'atmosphère et on néglige la capacité thermique du verre.

Déterminez l'état final du système (état physique et température).

Données :

- enthalpie massique de fusion de l'eau à 0°C : $l_f = 333\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_e = 4,18\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$
- capacité thermique massique de la glace : $c_g = 2,10\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$

Exercice 16 : Cessation d'un état métastable :

Dans un calorimètre thermiquement isolé et de capacité thermique négligeable, on place une masse $m = 1,00\text{ kg}$ d'eau en état surfondu, c'est à dire liquide à une température $T = 263\text{ K}$ inférieure à la température de changement d'état $T_0 = 273\text{ K}$ à la même pression $P_0 = 1,01\cdot 10^5\text{ Pa}$. L'introduction d'un petit morceau de glace, de masse négligeable, provoque la solidification partielle de l'eau.

Données :

- enthalpie massique de fusion de l'eau à 0°C : $l_f = 333\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_e = 4,18\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$
- capacité thermique massique de la glace : $c_g = 2,10\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$

- 1) Quelle est la température finale T_f à l'équilibre ?
- 2) A quelle variation de fonction d'état le transfert thermique subi par l'eau s'identifie-t-il ?
- 3) Déterminez puis calculez la masse m_s d'eau solidifiée.

Exercice 17 : Formation de neige artificielle :

La neige artificielle est obtenue en pulvérisant de fines gouttes d'eau liquide à $T_1 = 10^\circ\text{C}$ dans l'air ambiant à $T_a = -15^\circ\text{C}$.

1) Dans un premier temps le goutte d'eau supposée sphérique (rayon $R = 0,2 \text{ mm}$) se refroidit en restant liquide. Elle reçoit de l'air extérieur un transfert thermique $\dot{h}(T_a - T(t))$ par unité de temps et de surface, où $T(t)$ est la température de la goutte. On rappelle que la masse volumique de l'eau est $\rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ et sa capacité thermique massique $c = 4,18.10^3 \text{ J.kg}^{-1}$.

- a) Etablir l'équation différentielle vérifiée par $T(t)$.
- b) En déduire le temps t auquel $T(t) = -5^\circ\text{C}$. Effectuer l'application numérique pour $h = 65 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

2) a) Lorsque la goutte atteint la température de -5°C , la surfusion cesse : la goutte est partiellement solidifiée et la température devient égale à 0°C . Calculer la fraction x de liquide restant à solidifier en supposant la transformation très rapide et adiabatique. On néglige aussi la variation de volume. L'enthalpie massique de fusion de la glace est $L_f = 335 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

- b) Au bout de combien de temps la goutte est-elle complètement solidifiée ?

Exercice 18 : Canette autoréfrigérante :

À l'occasion de la coupe du monde de Football 2002, une canette autoréfrigérante a été mise au point. Elle comprend un réservoir en acier contenant le liquide réfrigérant. Lorsqu'on ouvre la canette, ce liquide est libéré : il se détend brusquement et se vaporise en traversant une spirale en aluminium qui serpente à travers la boisson à refroidir. Le volume de la boisson à refroidir est de 33 cL et l'on considèrera pour simplifier qu'il s'agit d'eau de capacité thermique massique $c = 4,2 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$. On considère que le corps réfrigérant est constitué d'une masse $m_r = 60 \text{ g}$ de N_2 dont l'enthalpie massique de vaporisation est $L_v = 200 \text{ kJ.kg}^{-1}$. Calculer la variation de température de la boisson.

Exercice 19 : Combien de glaçons doit-on mettre dans son Coca ?

Ronald McDonald wants to help with the energy problem by not wasting the ice in his drink. He wants to know how much ice at 0°C he should add to 500 grams of water at 20°C so that the water cools down to 0°C just as the last bit of ice melts.

How many grams of ice should he add to his 500 gram drink?