TD12 – Bilans d'énergie : premier principe de la thermodynamique

Exercice 1 – Énergie d'un gaz

On cherche à déterminer les ordres de grandeur des différents termes dans l'énergie d'un gaz. Pour cela, on considère une mole d'air de masse molaire $M = 28\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$, que l'on supposera parfait. On rappelle qu'il s'agit d'un gaz diatomique, car très majoritairement composé de diazote et de dioxygène.

1. Déterminer le volume occupé par ce gaz dans les CNTP.
2. Évaluer sa variation d'énergie cinétique macroscopique si on le met en mouvement à $1\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.
3. Quelle est sa variation d'énergie potentielle macroscopique si on le monte de $10\,\mathrm{m}$.
4. Quelle est sa variation d'énergie interne si on élève sa température de $20\,°\mathrm{C}$ en gardant son volume constant ? Commenter.

Exercice 2 – Cycle

Une mole de gaz parfait monoatomique contenue dans un cylindre décrit le cycle $ABCA$ de manière mécaniquement réversible. L'évolution AB est isotherme à la température $T_A = 301\,\mathrm{K}$. En A, la pression est $P_A = 1{,}0\,\mathrm{bar}$. L'évolution BC est isobare à la pression $P_B = 5{,}0\,\mathrm{bar}$. L'évolution CA est isochore.

1. Quelle est l'allure de la courbe $P(V)$ lors de la transformation AB ?
2. Représenter le cycle $ABCA$ dans le diagramme de Watt (P, V).
3. Calculer les volumes V_A, V_B et V_C, ainsi que la température T_C.
4. Calculer le travail et le transfert thermique reçu par le gaz au cours de chacune des évolutions AB, BC et CA. Calculer leur somme et commenter.

Exercice 3 – Détente de Joule Gay-Lussac

Dans un mémoire de 1843, Joule décrit une expérience sur la détente des gaz. Elle consiste à mettre en communication deux réservoirs de même volume V, l'un vide, l'autre rempli de gaz initialement à la pression P_0 et à la température T_0. On suppose que les parois des réservoirs sont calorifugées et on étudie la transformation qui mène le système {gaz+vide} à l'état final d'équilibre.

1. Par quel(s) adjectif(s) peut être caractérisée cette transformation ?
2. Évaluer indépendamment les termes W et Q, puis déduire $W + Q$. (Mêmes notations que dans le cours.)
3. Que peut-on déduire sur la variation d'énergie interne au cours de cette transformation ?
4. En se plaçant dans le modèle du gaz parfait, que peut-on déduire sur la température finale ?
5. Toujours pour un gaz parfait, déterminer la pression finale P_f.

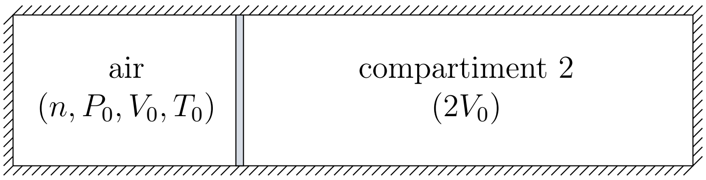
Exercice 4 – Transformation adiabatique

Une mole de gaz parfait de capacité thermique molaire à volume constant $C_m = 5R/2$ est enfermé dans un cylindre vertical calorifugé fermé par un piston mobile calorifugé de section $S = 0{,}01\,\mathrm{m}^2$ en contact avec une atmosphère extérieure à la pression constante $P_0 = 1\,\mathrm{bar}$.

1. On pose sur le piston une masse $M = 102\,\mathrm{kg}$ et on laisse le système évoluer. Déterminer la pression P_1 et la température T_1 lorsqu'on a atteint le nouvel équilibre.
2. À partir de cet état d'équilibre, on enlève la masse M et on laisse le système évoluer. Déterminer la pression P_2 et la température T_2 lorsqu'on a atteint le nouvel état d'équilibre.

Exercice 5 – Travail des forces de pression

On considère un cylindre séparé en deux zones par une paroi diatherme de masse et de volume négligeable. Les parois latérales sont calorifugées. Le premier compartiment, de volume $V_0 = 1\,\mathrm{L}$ contient $n_0 = 0{,}1\,\mathrm{mol}$ d'air à la température $T_0 = 20\,°\mathrm{C}$ et pression P_0. Le second, de volume $2V_0$, sera rempli différemment suivant les questions. À l'instant initial (représenté ci-dessous), on laisse la paroi séparant ces deux zones évoluer suivant l'axe du cylindre. On note (n, P, V, T) les variables caractérisant l'air contenu dans la zone de gauche. Tous les gaz seront modélisés par des gaz parfaits.



1. Déterminer la valeur de P_0

Le compartiment 2 est initialement vide.

2. Déterminer les valeurs n_f et V_f caractérisant l'air à l'état final.
3. Calculer le travail des forces de pression W, puis T_f et P_f.
4. Montrer que, pour cette transformation :

$$W \neq -\int_{V_0}^{V_f} P\mathrm{d}V.$$

Le compartiment 2 est initialement rempli de n_0 mole d'air à température T_0 et pression $P_0/2$

5. Déterminer les valeurs n_f et V_f caractérisant l'air à l'état final.
6. Rappeler la capacité thermique à volume constant de l'air du volume de gauche (gaz parfait diatomique, cf. Chap. 11). En utilisant le premier principe pour l'ensemble des deux gaz, déterminer T_f.
7. En déduire la valeur de P_f.
8. Pour l'air du compartiment de gauche, établir un lien entre le travail des forces de pression W et le transfert thermique Q lors de cette transformation.
9. On suppose à présent l'évolution des gaz des deux compartiments comme isotherme. Comment réaliser cela en pratique ? Calculer W. A-t-on cette fois

$$W = -\int_{V_0}^{V_f} P\mathrm{d}V.$$

Exercice 6 – Calorimétrie

Un calorimètre contient 95 g d'eau à 20 °C. On y ajoute 71 g d'eau à 50 °C.

1. Quelle est la variation d'enthalpie du système {calorimètre, accessoires, deux volumes d'eau} ?
2. Quelle serait la température d'équilibre si l'on pouvait négliger la capacité thermique du calorimètre et de ses accessoires devant celle de l'eau.
3. La température d'équilibre observée est 31,3 °C. En déduire la valeur en eau du calorimètre et de ses accessoires, c'est-à-dire la masse d'eau qui aurait la même capacité thermique que le calorimètre et ses accessoires.

Le calorimètre contient maintenant 450 g d'eau à la température de 20 °C. On place à l'intérieur une résistance chauffante $R = 5\,\Omega$ dans laquelle on fait passer un courant $I = 2\,\mathrm{A}$ pendant une durée $\tau = 10\,\mathrm{min}$ au cours de laquelle la température s'élève de 6 °C.

4. En déduire la capacité thermique massique de l'eau. Commenter.

Le même calorimètre contient maintenant 100 g d'eau à 15 °C. On y plonge un échantillon métallique de masse 25 g sortant d'une étude à 95 °C. La température d'équilibre est alors de 16,7 °C.

5. Calculer la capacité thermique du métal.

Exercice 7 – Gaz chauffé par une résistance

Un récipient de volume $2V_0$ est séparé en deux par un piston mobile calorifugé. L'enceinte de gauche (enceinte A) est parfaitement calorifugée, tandis que celle de droite (enceinte B) est en contact avec un thermostat de température T_0. On note $\gamma = C_p/C_v$ le rapport des capacités thermiques.

À l'état initial, chaque compartiment contient n moles d'un gaz parfait qui occupent un volume V_0, à une pression P_0 et une température T_0 . On chauffe l'enceinte A jusqu'à la température T_1 à l'aide d'une résistance électrique. Les transformations seront considérées réversibles.

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 du gaz de l'enceinte B ? En déduire le travail W reçu par B de la part de A, ainsi que le transfert thermique Q_1 reçu par B de la part du thermostat.
4. Déterminer le transfert thermique Q_2 fourni par la résistance.

Exercice 8 – Température d'un conducteur ohmique

Un conducteur ohmique de résistance $R = 1{,}00\,\mathrm{k\Omega}$, assimilé à une phase condensée idéale de capacité thermique C est placé dans l'air ambiant dont la température $T_0 = 293\,\mathrm{K}$ est supposée constante. On modélise les transferts thermiques entre ces deux systèmes en supposant que le conducteur ohmique à la température T reçoit pendant un intervalle de temps $\mathrm{d}t$ un transfert infinitésimal $\delta Q = h(T_0 - T)\mathrm{d}t$ de la part de l'atmosphère. À partir de $t = 0$, le conducteur ohmique est parcouru par un courant d'intensité $I = 100\,\mathrm{mA}$ constante.

1. Établir l'équation différentielle vérifiée par la température T du conducteur ohmique pour $t \geqslant 0$. Quelle est la durée caractéristique τ du phénomène décrit par cette équation ?
2. Au bout d'un temps suffisamment long, le conducteur ohmique atteint une température limite $T_1 = 313\,\mathrm{K}$. En déduire la valeur du coefficient h.
3. Résoudre l'équation différentielle pour obtenir la température $T(t)$ du conducteur ohmique. Représenter graphiquement $T(t)$.

Exercice 9 – Résolution de problème

Un briquet pneumatique permet d'allumer un petit morceau de coton ou de papier afin de démarrer un feu. La vidéo ci-contre montre son utilisation, filmée à l'aide d'une caméra rapide.

https://youtu.be/Bjy6m6MR-PQ

Proposer une estimation de la température du gaz au moment où le coton s'enflamme.

Exercice 10 – Bonus : Vitesse des baffes d'Obelix

Imaginez qu'Obélix vous gifle ! Vous ressentez une rougeur à la joue. La température de la région touchée a varié de 1,8 °C. En supposant que la masse de la main qui vous atteint est de 1,2 kg et que la masse de la peau rougie est de 150 g, estimez la vitesse de la main juste avant l'impact, en prenant comme valeur de la capacité thermique massique de la peau de la joue : $c = 3{,}8\,\mathrm{kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$.