

TD22 – Premier principe de la thermodynamique

EXERCICE 1 : Valeur en eau d'un calorimètre (★)

Un calorimètre est constitué d'un récipient calorifugé comportant divers accessoires à l'intérieur. Il contient initialement 95 g d'eau à 20°C à l'équilibre thermodynamique. On ajoute 71 g à 50°C.

1. Quelle serait la température d'équilibre si l'on pouvait négliger la capacité thermique du vase et de ses accessoires.
2. La température d'équilibre observée est 31,3°C. Déterminer la capacité thermique du calorimètre et de ses accessoires. Quelle masse d'eau aurait la même capacité thermique? On appelle cette valeur la "valeur en eau" du calorimètre.
3. Le même calorimètre contient maintenant 100 g d'eau à 15°C. On y plonge un échantillon métallique pesant 25 g sortant d'une étuve à 95°C. La température d'équilibre étant 16,7°C, calculer la capacité thermique du métal.

EXERCICE 2 : Étude de deux chemins différents (★)

Un gaz parfait, de quantité de matière n subit deux transformations différentes d'un même état initial $A(P_0, V_0)$ vers un même état final $B(2P_0, 2V_0)$.

- ▷ la transformation AC_1B constituée d'une étape isobare AC_1 et d'une étape isochore C_1B .
 - ▷ la transformation AC_2B constituée d'une étape isochore AC_2 et d'une étape isobare C_2B .
- Toutes les transformations sont quasi-statiques (donc mécaniquement réversible).

1. Tracer les deux transformations sur un diagramme de Watt (P, V).
2. Calculer pour chaque transformation le travail reçu et la variation d'énergie interne en fonction de P_0 , V_0 et $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$.
3. En déduire, pour chaque transformation, le transfert thermique reçu par le gaz, en fonction de P_0 , V_0 et γ .

EXERCICE 3 : Travail des forces pressantes pour un gaz réel (★)

Pour une mole de gaz réel, on modélise son équation d'état par une relation de la forme

$$P(V - b) = RT$$

avec R et b des constantes. On comprime cette mole de gaz très lentement du volume $2V_0$ au volume V_0 à température constante T_0 .

Exprimer le travail W (de la part des forces pressantes) reçu par le gaz.

EXERCICE 4 : Quelques transformations quasi-statiques (★)

Un fluide décrit un cycle quasi-statique ABC : AB détente isobare, BC compression isochore et CA une transformation dont le chemin associé en diagramme de Watt (P, V) est un segment de droite..

1. Représenter le diagramme dans un diagramme de Watt.
2. Calculer les travaux des forces de pression pour chaque étape et pour l'ensemble du cycle.

EXERCICE 5 : Résistance chauffante (★)

Un récipient de volume initial V_1 aux parois calorifugées contient n moles d'un gaz parfait, de coefficient adiabatique γ . L'une de ses extrémités est fermée par un piston calorifugé $\mathcal{P}$ qui peut se déplacer sans frottement, l'une de ses faces étant au contact de l'atmosphère à la pression P_a .

Une résistance r placée dans le récipient est alimentée par un courant d'intensité I constante. L'énergie dissipée par effet Joule est transmise intégralement au gaz par transfert thermique.

1. Exprimer C_v et C_p du gaz en fonction de n , R et γ .
2. Le piston $\mathcal{P}$ est bloqué. Le gaz est dans son état initial caractérisé par une pression $P_1 = P_a$ et une température T_1 . On fait circuler le courant I dans la résistance pendant une durée τ . Déterminer l'énergie fournie par effet Joule au gaz. Déterminer P_2 , V_2 et T_2 dans l'état final en fonction des données de l'énoncé.
3. Même question si le piston est libre de se déplacer.
4. Comparer les températures finales et commenter.

EXERCICE 6 : Remplissage brutal d'une enceinte (★★)

On considère une enceinte vide parfaitement calorifugée, de volume V , reliée par un robinet (fermé dans un premier temps) à l'atmosphère ambiante assimilée à un gaz parfait à la température T_0 et à la pression P_0 qu'on suppose toujours constantes. On ouvre le robinet et dès que le remplissage est terminé, on le referme.

Décrire l'état du gaz lorsque, le robinet fermé, l'état d'équilibre est atteint.

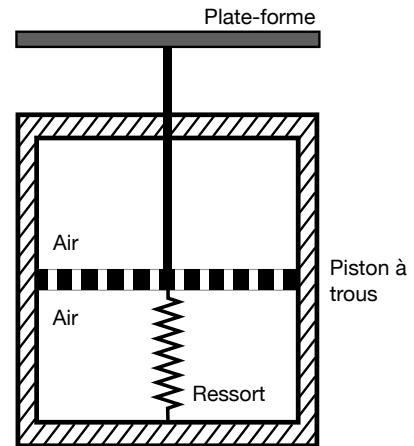
EXERCICE 7 : Calorimétrie d'un solide (★★)

On suspend dans un récipient adiabatique vide d'air un cylindre d'aluminium de masse $m = 90\text{ g}$, comportant une cavité dans laquelle on a placé un filament de platine de capacité thermique $\mu = 8\text{ J.K}^{-1}$ et de résistance électrique $R = R_0(1 + \alpha \times \theta)$ avec $R_0 = 50\ \Omega$, θ en $^\circ\text{C}$ et $\alpha = 0,2\ \Omega/^\circ\text{C}$. On maintient aux bornes du filament une d.d.p. $E = 50\text{ V}$ pendant un temps $\tau = 40\text{ s}$. La mesure de $\theta_i = 15^\circ\text{C}$ et de $\theta_f = 20^\circ\text{C}$ donne la capacité thermique massique c_{Al} .

Calculer c_{Al} si $M(\text{Al}) = 27\text{ g.mol}^{-1}$.

EXERCICE 8 : Étude d'un amortisseur (★★)

Une plate-forme de masse $m = 250\text{ kg}$ est montée sur un dispositif amortisseur. À la suite d'un choc avec un autre solide, elle possède une vitesse de 1 m.s^{-1} à la date $t = 0$. À ce moment, elle quitte sa position d'équilibre et se déplace selon un mouvement pseudo-périodique amorti qui la ramène après un certain temps à sa position d'équilibre. L'amortissement est créé par un piston percé de trous se déplaçant dans un cylindre contenant de l'air. L'écoulement de l'air à travers ces trous crée des surpressions locales de part et d'autre du piston qui sont la cause de la force d'amortissement.



L'air sera assimilé à un gaz parfait diatomique. Les parois du cylindre sont parfaitement calorifugées et on néglige la capacité thermique des solides devant celle du gaz. À $t = 0$, le volume invariant du gaz est $V_0 = 60\text{ L}$, sa température est $T_0 = 300\text{ K}$ et sa pression $P_0 = 1\text{ bar}$.

1. Calculer la variation d'énergie interne du gaz entre $t = 0$ et le retour à l'équilibre.
2. Calculer la température finale T_f du gaz.
3. En supposant que l'on connaisse très précisément la vitesse de la plateforme à chaque instant de son régime pseudo-périodique, peut-on déterminer à chaque instant la température du gaz?
4. Comment les calculs seraient modifiés si l'on prenait en compte les capacités thermiques des solides.

EXERCICE 9 : Rendement du cycle de Beau de Rochas (★★)

On considère un gaz parfait diatomique subissant un cycle de Beau de Rochas BCDEB. Ce cycle modélise très bien ce qui se passe dans un moteur à essence et permet d'en exprimer le rendement.

BC : compression adiabatique, supposée réversible.

CD : Le gaz reçoit un transfert thermique $Q_{CD} > 0$ de manière isochore. (On modélise ainsi l'effet de la réaction chimique exothermique lors de l'explosion du mélange air+essence).

DE : Détente adiabatique réversible.

EB : Refroidissement isochore.

1. Représenter le cycle dans le diagramme de Watt.
2. Exprimer les transferts thermiques Q_{CD} et Q_{EB} en fonction des températures aux points C, D, E et B.
3. En notant W_f le travail algébriquement fourni par le gaz lors du cycle, exprimer le rendement du cycle $\eta = \frac{W_f}{Q_{CD}}$ en fonction des températures aux points B, C, D et E.
4. On admet que lors d'une transformation adiabatique réversible, un gaz parfait suit la loi suivante :

$$TV^{\gamma-1} = \text{cste.}$$

Montrer que $\eta = 1 - \alpha^{1-\gamma}$ où $\alpha = \frac{V_B}{V_C}$ est le taux de compression.

EXERCICE 10 : Calorimétrie (★ ★ ★)

On désire mesurer tout d'abord la capacité thermique totale C_T d'un calorimètre et de son contenu {eau + accessoires}. On plonge pour cela une résistance chauffante dans l'eau du calorimètre dont la valeur est $R = 250\Omega$, indépendante de la température. On fait circuler un courant de $I = 0,5\text{A}$ pendant $\Delta t = 13\text{min}$ et on constate que la température de l'ensemble passe de 14°C à 16°C .

1. (★) Calculer $C_T^{(0)}$ en négligeant la capacité thermique de la résistance.
2. (★) Calculer C_T en tenant compte de la capacité thermique de la résistance $C_R = 250\text{J.K}^{-1}$. Conclusion?

On désire maintenant mesurer la capacité thermique massique C d'un gaz. Pour cela on plonge un serpentin dans le calorimètre contenant le même volume d'eau qu'à la question précédente. Le serpentin est parcouru par le gaz avec un débit massique $D = 2,6 \cdot 10^{-4}\text{kg.s}^{-1}$. Le gaz entre dans le calorimètre à la température de $\theta_1 = 200^\circ\text{C}$ et en sort à la même température que le calorimètre. Ce-dernier passe ainsi de $\theta_0 = 14^\circ\text{C}$ à $\theta_f = 16^\circ\text{C}$ en 14 min.

3. Exprimer la masse δm de gaz entrant dans le serpentin pendant dt . En supposant que l'écoulement est stationnaire, que peut-on dire de la masse sortant du serpentin pendant la même durée?
4. En choisissant comme système l'ensemble du calorimètre, la gaz dans le serpentin à un instant t et la masse δm qui rentre dans le serpentin pendant dt , appliquer le premier principe de la thermodynamique au système entre l'instant t et l'instant $t + dt$.
5. On fait l'approximation que l'enthalpie du gaz dans le serpentin ne varie pas pendant dt . Établir une équation différentielle sur $\theta(t)$ et en déduire l'expression de la température du calorimètre en fonction du temps puis la valeur de la capacité thermique massique C du gaz.

EXERCICE 11 : Étude d'un chauffe-eau (★ ★ ★)

De l'eau dont la capacité thermique est $c = 4,18\text{kJ.K}^{-1}.\text{L}^{-1}$ entre à T_0 (14°C) dans un chauffe-eau et en ressort à la température T_f (33°C). Pendant $\Delta t = 5\text{minutes}$, il a circulé $V_0 = 10\text{L}$ d'eau pour une consommation de $V_{\text{gaz}} = 27\text{L}$ de gaz. Le gaz possède un pouvoir énergétique $PE = 10,4\text{kWh.m}^{-3}$. On supposera le débit massique du gaz constant.

1. Montrer que le rendement η du chauffage s'exprime :

$$\eta = \frac{V_0 c (T_f - T_0)}{V_{\text{gaz}} \times PE}$$

Le rendement du chauffage n'est pas de 100% car il s'effectue entre l'eau chaude et l'extérieur (qu'on suppose toujours à la température T_0) un transfert thermique modélisé par la puissance transférée suivante :

$$P_{\text{pertes thermiques}} = \alpha(T - T_0)$$

2. Appliquer le premier principe de la thermodynamique à l'eau entre t et $t + dt$. En déduire une équation différentielle du premier ordre portant sur la température T sous la forme :

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T - T_0}{\tau} = \frac{T_f - T_0}{\eta \Delta t}$$

avec τ une constante à exprimer en fonction de V_0 , c et α .

3. Calculer α . On pourra résoudre numériquement (à l'aide de la calculatrice) l'équation obtenue.