TD17 : Thermodynamique 2

Exercice 1 : Chauffage d'un gaz parfait

On enferme $n = 0{,}1$ mol d'azote, (considéré comme un gaz parfait avec $C_{vm} = \frac{5}{2}R$) dans un cylindre thermostaté à $T_0 = 27\,°\mathrm{C}$, fermé par un piston mobile sans frottement de section $S = 100\,\mathrm{cm}^2$. La pression atmosphérique est $P_0 = 1\,\mathrm{bar}$. On néglige la force pressante due au poids du piston devant la force pressante atmosphérique.

1. Calculer la hauteur h_0 occupé par le gaz dans le cylindre.
2. Le piston étant bloqué, on élève la température du thermostat à $T_1 = 50\,°\mathrm{C}$. Calculer le travail W et le transfert thermique Q échangés par le gaz.
3. En repartant de l'état initial, on élève à nouveau la température jusqu'à T_1 , mais en laissant libre le piston (la transformation est quasistatique). Calculer les nouveaux W' et Q' échangés par le gaz. Commenter.

Exercice 2 : Compression isotherme ou monotherme

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

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 $P_2 = 10\,\mathrm{bar}$. 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.
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 réinstaure 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.

Exercice 3 : Transformation cyclique d'un gaz parfait

Une mole de gaz parfait diatomique ($C_{vm} = \frac{5}{2}R$) subit la transformation cyclique constituée des étapes suivantes :

— À partir des conditions normales $P_0 = 1\,\mathrm{bar}$, et $T_0 = 0\,°\mathrm{C}$, un échauffement isobare fait tripler son volume, sa température atteint alors T_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.

1. Représenter le cycle dans le diagramme de Watt (P, V).
2. Calculer pour chaque étape le transfert thermique Q, le travail échangé W et les variations ΔU d'énergie interne et ΔH d'enthalpie.
3. Calculer W_{total} et Q_{total} sur le cycle complet, ainsi que ΔU_{total} et ΔH_{total} sur ce cycle.

Exercice 4 : Calorimétrie

Un calorimètre et ses accessoires (agitateur, thermomètre,...) possède une capacité thermique C. On donne la capacité thermique de l'eau : $c_{eau} = 4{,}18\,\mathrm{J\,g^{-1}\,K^{-1}}$.

1. Le calorimètre contient initialement une masse d'eau $M = 95\,\mathrm{g}$ à la température $T_1 = 20\,°\mathrm{C}$, on lui ajoute une masse $m = 71\,\mathrm{g}$ d'eau à la température $T_2 = 50\,°\mathrm{C}$. Après quelques instants, la température d'équilibre observée est $T_f = 31{,}3\,°\mathrm{C}$. En déduire la valeur de la capacité thermique C du calorimètre. Calculer la masse d'eau μ équivalente au calorimètre.
2. Le même calorimètre contient maintenant $M' = 100\,\mathrm{g}$ d'eau à $T_1' = 15\,°\mathrm{C}$. On y plonge un échantillon métallique de masse $m' = 25\,\mathrm{g}$ porté à la température $T_2' = 95\,°\mathrm{C}$. La température d'équilibre est $T_f' = 16{,}7\,°\mathrm{C}$. Calculer la capacité thermique massique c de l'échantillon métallique.

Exercice 5 : Intérêt des glaçons

On considère un verre contenant une masse $m_l = 200\,\mathrm{g}$ d'eau liquide de capacité thermique massique $c = 4{,}18\,\mathrm{J\,g^{-1}\,K^{-1}}$ à la température $T_1 = 0\,°\mathrm{C}$. Ce verre est en contact thermique avec l'atmosphère dont la température est plus élevée. On peut modéliser les échanges thermiques en considérant que la quantité de chaleur transférée à l'eau par l'atmosphère est proportionnelle au temps et vaut $Q = at$ avec $a = 30\,\mathrm{J/s}$.

1. Déterminer la variation de l'enthalpie de l'eau contenue dans le verre lorsque sa température monte à $T_2 = 10\,°\mathrm{C}$.
2. En déduire la quantité de chaleur transférée à l'eau, et le temps mis par l'eau pour se réchauffer.

On répète la même expérience mais cette fois le verre contient des glaçons, la masse d'eau liquide est initialement $m_l = 170\,\mathrm{g}$ et la masse de glace est $m_g = 30\,\mathrm{g}$. On donne l'enthalpie massique de fusion de l'eau : $h_f = 333{,}5\,\mathrm{J\,g^{-1}}$

3. Déterminer la variation d'enthalpie du système eau+glace lorsque la glace fond puis la température augmente jusqu'à $T_2 = 10\,°\mathrm{C}$.
4. Déterminer le temps mis par le verre d'eau pour se réchauffer lorsqu'il contient initialement des glaçons

Exercice 6 : Enthalpie de changement d'état

Calculer la quantité de chaleur à fournir pour transformer à pression constante $P_0 = 1\,\mathrm{bar}$ une masse de 1 kg de glace à $-10\,°\mathrm{C}$ en vapeur à $120\,°\mathrm{C}$.

Données :

— Capacité thermique massique de la glace : $c_g = 2{,}06\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}}$
— Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_l = 4{,}18\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}}$
— Capacité thermique massique de la vapeur d'eau : $c_v = 1{,}41\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}}$
— Enthalpie massique de fusion de l'eau : $h_f = 333\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}}$
— Enthalpie massique de vaporisation de l'eau : $h_v = 2257\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}}$

Exercice 7 : Compression puis détente

Une mole de gaz parfait diatomique est initialement dans les conditions $P_0 = 1\,\mathrm{bar}$ et $T_0 = 20\,°\mathrm{C}$. On réalise une compression adiabatique réversible de ce gaz, qui diminue son volume de moitié. On note (P_1, T_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.

1. Représenter les chemins suivis lors de ces transformations dans le diagramme de Watt.
2. Calculer P_1 et T_1.
3. Calculer la pression finale P_2 à la fin de la détente.
4. Exprimer puis calculer les travaux et les transferts thermiques échangés par le gaz au cours du cycle.

Exercice 8 : Bilan d'entropie

Un morceau de fer de 2 kg est chauffé à blanc (à la température de 880 K) est jeté dans un lac à $5\,°\mathrm{C}$. Calculer l'entropie créée lors de cette transformation. On donne la capacité thermique massique du fer $c_{fer} = 440\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$, et on admet que l'entropie massique du fer est donnée par $s(T) = s_0 + c_{fer}\ln(T)$.

Exercice 9 : Contact thermique entre deux solides

Deux solides S_1 et S_2, de capacités thermiques respectives C_1 et C_2 sont initialement aux températures uniformes respectives T_1 et T_2. Ils sont mis en contact dans un calorimètre de capacité thermique négligeable par rapport à celle des solides.

1. Déterminer la température d'équilibre T_e du système constitué par le calorimètre et les deux solides.
2. Exprimer la variation d'entropie ΔS de ce système. On admet que l'entropie d'un solide à la température T est donnée par $S(T) = C\ln(T) + S_0$ où C est la capacité thermique du solide et S_0 est une constante
3. Déterminer le signe de ΔS dans le cas particulier où $C_1 = C_2 = C$. Commenter.

Exercice 10 : Création d'entropie et changement d'état

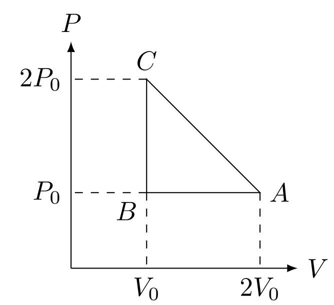
On place un morceau de glace de température $T_1 = 0\,°\mathrm{C}$ et de masse m en contact avec un thermostat à la température T, on effectue un bilan d'entropie lorsque la glace fond pour donner la même masse m d'eau à $0\,°\mathrm{C}$. On note h_f l'enthalpie massique de fusion de l'eau.

1. Calculer la variation ΔS d'entropie du morceau de glace.
2. Calculer l'entropie S_{ech} échangée avec le thermostat en fonction de T.
3. En déduire l'expression de S_{cre}, l'entropie créée lors de ce changement d'état. Montrer que $S_{cre} \geq 0$
4. Que vaut S_{cre} lorsque $T \to 0\,°\mathrm{C}$

Exercice 11 : Rendement d'un cycle moteur

On a représenté ci-contre le cycle thermodynamique suivi par une mole de gaz parfait monoatomique :

— A–B : Réduction de volume isobare de $2V_0$ à V_0.
— B–C : Compression isochore de P_0 à $2P_0$.
— C–A : Détente.



1. On note T_0 la température du gaz parfait au point B, exprimer sa température aux points A et C
2. Montrer que l'on peut considérer ce cycle comme un moteur ditherme, calculer son rendement maximum théorique.
3. Calculer le travail W reçu par le gaz au cours d'un cycle.
4. Calculer les chaleurs Q_{AB} et Q_{BC} reçues par le gaz sur les segments AB et BC.
5. En déduire d'après le premier principe la chaleur Q_{CA} reçue sur le segment CA.
6. Calculer le rendement du moteur, le comparer au rendement maximum théorique.

Exercice 12 : Problème : refroidissement d'une centrale nucléaire

Les réacteurs de certaines centrales nucléaires sont refroidis à partir de l'eau d'une rivière. L'eau réchauffée étant ensuite rejetée dans la rivière. Afin de ne pas trop perturber les écosystèmes on impose que le fonctionnement de la centrale n'augmente pas la température de l'eau de plus de 1 °C. Déterminer une estimation du débit minimum d'une rivière sur laquelle on peut installer une centrale nucléaire (comportant au moins 2 réacteurs).