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 $T_0 = 27\,°C$, fermé par un piston mobile sans frottement de section $S = 100\,cm^2$. La pression atmosphérique est $P_0 = 1$ 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 $T_1 = 50\,°C$. 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 $T_1 = 293\,K$, sa pression est $P_1 = 1$ bar et son volume est $V_1 = 5\,L$. 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 $P_2 = 10$ 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 $P_0 = 1$ bar, et $T_0 = 0\,°C$, 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 : $c_{eau} = 4{,}18\,J\,g^{-1}\,K^{-1}$.

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

Exercice 5 : Intérêt des glaçons

On considère un verre contenant une masse $m_l = 200\,g$ d'eau liquide de capacité thermique massique $c = 4{,}18\,J\,g^{-1}\,K^{-1}$ à la température $T_1 = 0\,°C$. 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 $a = 30\,J/s$.

1. Déterminer la variation de l'enthalpie de l'eau contenue dans le verre lorsque sa température monte à $T_2 = 10\,°C$.
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 $m_l = 170\,g$ et la masse de glace est $m_g = 30\,g$. On donne l'enthalpie massique de fusion de l'eau : $h_f = 333{,}5\,J\,g^{-1}$

3. Déterminer la variation d'enthalpie du système eau+glace lorsque la glace fond puis la température augmente jusqu'à $T_2 = 10\,°C$.
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 $P_0 = 1$ bar une masse de 1 kg de glace à $-10\,°C$ en vapeur à $120\,°C$.

Données :

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

Exercice 7 : Compression puis détente

Une mole de gaz parfait diatomique est initialement dans les conditions $P_0 = 1$ bar et $T_0 = 20\,°C$. 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 °C. Calculer l'entropie créée lors de cette transformation. On donne la capacité thermique massique du fer $c_{fer} = 440\,J\,kg^{-1}\,K^{-1}$, 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

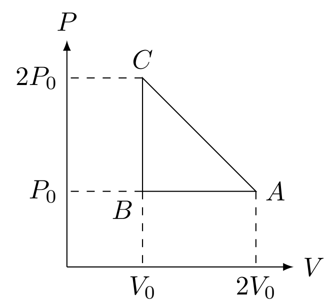
On place un morceau de glace de température $T_1 = 0\,°C$ et de masse m en contact avec un thermostat à la température T, on effectue un bilan d'entropie lorsque la glace fond pour donner la même masse m d'eau à 0 °C. On note h_f l'enthalpie massique de fusion de l'eau.

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 $T \to 0\,°C$

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 du 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.