

TD : Premier principe de la thermodynamique

1 Applications directes du cours

App1 : Température finale et transfert thermique

Soit deux blocs de masse m supposés indilatables, de capacité thermique massique c et isolés du milieu extérieur. Les solides sont initialement aux températures $T_1 = 20^\circ \text{C}$ et $T_2 = 50^\circ \text{C}$.

1. Déterminer la température finale du système.
2. Détailler les échanges d'énergie.
3. Reprendre la question 1 pour des blocs de capacité thermique massique c_1 et c_2 (on se limitera à l'expression littérale).

App2 : Bilan d'énergie sur différents chemins

On étudie une détente de n moles d'un gaz parfait d'un état $A(3p_0, V_0)$ à un état $B(p_0, 3V_0)$. On considère plusieurs chemins possibles.

- Chemin 1 : refroidissement isochore de A à $A_1(p_0, V_0)$ puis détente isobare de A_1 à B .
- Chemin 2 : détente isobare de A à $A_2(3p_0, 3V_0)$ puis refroidissement isochore de A_2 à B .
- Chemin 3 : détente isotherme de A à B .

1. Quelle est la variation d'énergie du gaz lors de ces transformations ?
2. Pour quel chemin le transfert thermique est-il le plus faible ?
3. Calculer le travail et la chaleur reçue pour chaque transformation. Sachant que $p_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, $V_0 = 5,0 \text{ L}$ et $C_v = \frac{5}{2}nR$.

App3 : Coefficient adiabatique

1. Rappeler la relation de Mayer et la définition du coefficient adiabatique γ .
2. Déterminer la valeur du coefficient adiabatique pour un gaz parfait monoatomique et diatomique.

2 Exercices

EX1 : Transformation polytropique

Une transformation polytropique est une transformation d'un gaz pour laquelle il existe un coefficient $k \neq 0$ tel que $PV^k = \text{cte}$ tout au long de la transformation. De telles transformations sont intermédiaires entre des adiabatiques et des isothermes, et se rencontrent en thermodynamique industrielles, par exemple lorsque le système réfrigérant ne permet pas d'éliminer tout le transfert thermique produit par une réaction chimique. On raisonnera à partir d'une transformation quasi-statique d'un gaz parfait.

Données : Pour un gaz parfait $C_V = \frac{nR}{\gamma-1}$ et $C_p = \frac{\gamma nR}{\gamma-1}$.

1. À quelles transformations connues correspondent les cas $k = 0$, $k = 1$ et $k = +\infty$?
2. Calculer le travail des forces de pression pour un gaz subissant une transformation polytropique entre deux états (P_0, V_0, T_0) et (P_1, V_1, T_1) en fonction d'abord des pressions et des volumes puis dans un second temps des températures seulement.
3. Montrer que le transfert thermique au cours de la transformation précédente s'écrit $Q = nR \left(\frac{1}{\gamma-1} - \frac{1}{k-1} \right) (T_1 - T_0)$.
4. Analyser les cas $k = 0$, $k = 1$ et $k = +\infty$, et vérifier la cohérence avec l'analyse initiale.

5. À quel type de transformation correspond le cas $k = \gamma$?

EX2 : Capacité thermique massique du cuivre

Dans un calorimètre dont la valeur en eau vaut $\mu = 41$ g, on verse 100 g d'eau. Une fois l'équilibre thermique atteint, la température mesurée est de 20° C. On plonge alors un barreau métallique de cuivre de masse 200 g à une température initiale de 60° C. À l'équilibre final, la température est de 30° C. Déterminer la capacité thermique massique du métal.

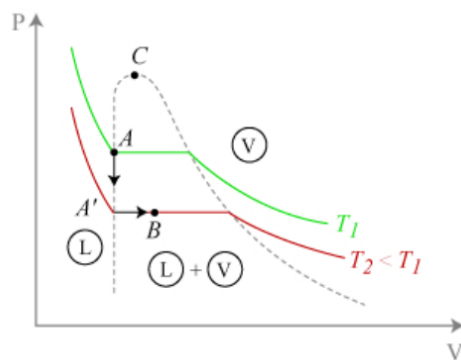
La capacité thermique massique de l'eau vaut $c_{eau} = 4,18$ kJ/K/kg . On suppose que toutes les capacités thermiques sont constantes dans le domaine de température considéré. **EX3 : De la glace qui fond**

Dans un calorimètre aux parois calorifugées et de capacité thermique négligeable, on introduit une masse $m_{liq} = 1,00$ kg d'eau liquide initialement à $T_1 = 20^\circ$ C. On y ajoute une masse $m_{gl} = 0,50$ kg de glace à $T_2 = 0^\circ$ C. On suppose que la transformation se fait à pression constante $P \text{ atm} = 1$ bar.

Données : enthalpie massique de fusion de l'eau $\Delta_{fush} = 3,3 \cdot 10^2$ kJ/kg et capacité thermique massique de l'eau liquide $c = 4,2$ kJ \cdot K⁻¹ \cdot kg⁻¹ .

1. On suppose qu'à l'état final l'eau est entièrement sous forme liquide. Déterminer sa température T_F . Conclure.
2. On suppose maintenant qu'à l'état final l'eau est présente sous forme d'un mélange solide et liquide. Que peut-on dire sans calcul sur l'état final ? Déterminer la composition du mélange, c'est-à-dire la masse de chaque phase.

EX4 : Détente isenthalpique dans une machine frigorifique



Dans le détendeur d'une machine frigorifique à écoulement de fluide, un fluide frigorigène de type CFC (chlorofluorocarbène) se refroidit et se vaporise partiellement. Ce détendeur est supposé calorifugé, et ne contient aucune partie mobile, si bien que le fluide ne reçoit pas d'autre travail que celui des forces de pression qui assurent l'écoulement.

Le fluide y pénètre à la température T_1 et à la pression $P_1 = P_{sat}(T_1)$ égale à la pression de vapeur saturante du CFC à cette température. Le mélange qui sort du détendeur est à la température T_2 et à la pression $P_2 = P_{sat}(T_2)$. Cette transformation est représentée entre A et B dans le diagramme de Clapeyron ci-contre. Le volume massique du CFC est supposé constant le long de la courbe de saturation.

On raisonne sur un système fermé constitué d'une masse m de CFC traversant le détendeur.

1. Dédire du premier principe que le passage au travers du détendeur est isenthalpique, c'est-à-dire que l'enthalpie du système ne varie pas.
2. Déterminer la fraction x de CFC qui s'est vaporisée au cours de la détente. On pourra raisonner sur une transformation impliquant le point A 0 indiqué sur le diagramme de Clapeyron.

Données :

- $T_1 = 305$ K, $T_2 = 280$ K ;
- enthalpie massique de vaporisation à T_2 : $\Delta_{vap}h = 200$ kJ/kg ;
- capacité thermique du CFC liquide : $c = 1,32$ kJ / K / kg .

EX5 : Étude du cycle de Lenoir

On considère une mole de gaz parfait diatomique subissant une transformation cyclique suffisamment lente pour qu'on puisse considérer qu'il y a un équilibre thermodynamique interne du système.

L'état initial est caractérisé par sa pression $p_0 = 2,0 \cdot 10^5$ Pa et son volume $V_0 = 20$ L. On fait subir successivement à ce gaz :

- une compression isobare, qui divise par deux son volume ;
- un chauffage isochore ;
- une compression adiabatique, qui le ramène à son état initial.

On admettra que le gaz suit, au cours de la détente adiabatique, une loi polytropique de la forme $PV^\gamma = cst$, avec $\gamma = 1,4$. On rappelle que la capacité thermique molaire à volume constant d'un gaz parfait diatomique vaut $C_{V,m} = \frac{5}{2}R = \frac{R}{\gamma-1}$.

1. Représenter l'allure du cycle dans un diagramme de Watt.
2. Déterminer les pressions et volumes du système entre chaque transformation.
3. Calculer le travail et le transfert thermique reçus par le gaz, et les variations d'énergie interne du gaz au cours de chaque étape.
4. Calculer ces mêmes quantités pour le cycle complet.
5. Commenter les résultats.

3 Problèmes

Pb1 : Échauffement d'une bille dans l'air

Une bille métallique, de capacité thermique massique c (supposée constante), est lancée vers le haut avec une vitesse \vec{v}_0 , dans le champ de pesanteur \vec{g} supposé uniforme. Elle atteint une altitude h , puis redescend.

1. Déterminer l'altitude maximale h_0 que peut atteindre la bille si on néglige les forces de frottement fluide entre l'air et la bille. Exprimer h_0 en fonction de v_0 et g .
2. On constate que l'altitude h est inférieure à h_0 , à cause des forces de frottement. Calculer la variation de température ΔT de cette bille entre l'instant où elle est lancée et l'instant où elle atteint son point le plus haut en supposant que : l'on néglige toute variation de volume de la bille ; l'air ambiant reste macroscopiquement au repos ; le travail des forces de frottement se dissipe pour moitié dans l'air ambiant et pour moitié dans la bille. Exprimer ΔT en fonction de h_0 , h , g et c .
3. Calculer h_0 puis ΔT .

Données : $c = 0,4$ kJ/kg ; $v_0 = 10$ m/s, $h = 5$ m

Pb2 : Combien de glaçons dans le jus de fruits ?

Par une chaude journée d'été, vous avez oublié de mettre au frigo le jus de fruits de l'apéritif. Combien de glaçons devez-vous y ajouter pour qu'il soit aussi rafraîchissant ?

Données : enthalpie massique de fusion de l'eau $\Delta_{fus}h = 3,310^2$ kJ/kg et capacité thermique massique de l'eau $c = 0,42$ kJ/kg