

T1/2 : PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

Exercice 1 : Question de cours

1. Donner l'équation d'état des gaz parfaits en précisant les unités de chacune des grandeurs.
2. Donner l'énergie interne d'un gaz parfait diatomique, ainsi que sa capacité thermique à volume constant.
3. Démontrer que le travail fourni à un système thermodynamique composé d'un gaz parfait qui suit une évolution isotherme et quasi-statique à $T = T_0$ est :

$$W = nRT_0 \ln \left(\frac{V_i}{V_f} \right)$$

où V_i est le volume initial et V_f le volume final.

4. Définir le coefficient adiabatique γ .
5. Démontrer l'expression de la capacité thermique à volume constant d'un gaz parfait en fonction de n , R et γ .
6. Énoncer les lois de Laplace, avec les hypothèses associées.

Exercice 2 : Pression d'un pneu

En hiver, pour une température extérieure de $T_1 = -10^\circ \text{C}$, un automobiliste règle la pression de ses pneus à $P_1 = 2,0$ bar, pression préconisée par le constructeur. L'air est assimilé à un gaz parfait et le volume du pneu reste constant.

1. L'automobiliste ayant roulé sur l'autoroute, la température de l'air dans le pneu atteint la valeur $T_2 = 50^\circ \text{C}$. Exprimer puis calculer la pression P_2 de l'air dans le pneu.
2. À ce moment, le conducteur vérifie la pression des pneus et, la trouvant excessive, la ramène à $P_1 = 2,0$ bar, sans que l'air n'ait eu le temps de se refroidir. Quelle sera la pression P des pneus quand la température sera revenue à $T_1 = -10^\circ \text{C}$?
3. À partir de cette situation, si la pression maximale admissible dans le pneu est $P_{\max} = 6$ bar, à quelle température $T_{\max}$ risque-t-il d'exploser ?

Exercice 3 : Bouilloire

Une bouilloire fournie par effet Joule une puissance thermique constante $\mathcal{P} = 200$ W. On veut chauffer 200 mL d'eau liquide, initialement à $T_0 = 293$ K sous pression atmosphérique P_0 . Évaluer le temps au bout duquel l'eau se met à bouillir.

Exercice 4 : Échanges thermiques dans un calorimètre

1. Un calorimètre supposé parfaitement isolé thermiquement contient une masse $m = 200$ g d'eau à $\theta = 24,9^\circ \text{C}$. On ajoute $m' = 157$ g d'eau à $\theta' = 80,0^\circ \text{C}$. Un nouvel équilibre s'établit à $\theta_f = 45,7^\circ \text{C}$. Déterminer la capacité thermique du calorimètre.
2. On vide ce calorimètre et on y verse une masse d'eau $m = 300$ g à la température $\theta = 18^\circ \text{C}$ en équilibre thermique avec le vase intérieur. On introduit alors les masses :
 - $m_1 = 50$ g de cuivre à la température $\theta_1 = 30^\circ \text{C}$,
 - $m_2 = 30$ g de plomb à la température $\theta_2 = 80^\circ \text{C}$,
 - $m_3 = 80$ g de fer à la température $\theta_3 = 50^\circ \text{C}$.
 Quelle est la température θ_f d'équilibre ?

Données : $c_{\text{Pb}} = 129,5 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, $c_{\text{Fe}} = 452 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, $c_{\text{Cu}} = 385 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, $c_{\text{eau}} = 4185 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Exercice 5 : Étude d'un cycle résistant

Une mole de gaz parfait monoatomique subit successivement les évolutions quasi-statiques suivantes :

- une compression adiabatique de $T_A = 300$ K à $T_B = 360$ K ;
- une évolution isochore amenant à l'état C tel que $T_C = T_A = 300$ K ;
- une détente isotherme ramenant à l'état A.

1. On donne $P_A = 1,00$ bar. Déterminer V_A .
2. Déterminer V_B , P_B , V_C et P_C .

3. Représenter ce cycle dans le diagramme de Clapeyron.
4. Exprimer les travaux, transferts thermiques et variation d'énergie interne pour les différentes évolutions, et pour l'ensemble du cycle.

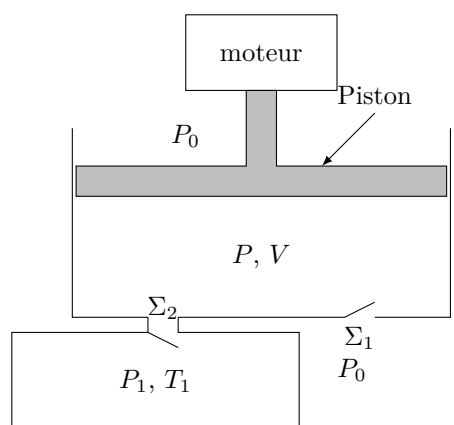
Exercice 6 : Étude d'un cycle moteur

On considère le cycle suivant décrit par deux moles de gaz parfait ($\gamma = 1,4$) :

- une compression isotherme, quasi-statique, de A à B de la pression $p_A = 1$ bar à la pression p_B , à la température $T_A = T_B = 298$ K ;
 - un échauffement isobare, quasi-statique, de B à C jusqu'à la température $T_C = 400$ K ;
 - une évolution de C à A par une détente adiabatique et quasi-statique.
1. Déterminer les coordonnées de A, B et C dans le diagramme de Clapeyron.
 2. Exprimer puis calculer les travaux et transferts thermiques reçus par le gaz dans chacune des transformations, puis sur le cycle.

Exercice 7 : Étude d'un compresseur

On étudie le fonctionnement d'un compresseur d'un moteur à air comprimé (celui d'un marteau-piqueur, par exemple). L'air est assimilé à un gaz parfait de masse molaire $M = 29$ g · mol⁻¹. La constante des gaz parfaits est $R = 8,314$ J · mol⁻¹ · K⁻¹.



L'air est aspiré dans les conditions atmosphériques, sous $P_0 = 1,0$ bar et à la température $T_0 = 290$ K, jusqu'au volume V_m ; puis il est comprimé jusqu'à la pression P_1 , où il occupe le volume V_1 ; enfin il est refoulé à la température T_1 dans un milieu où la pression est $P_1 = 6$ bar. Bien que le mécanisme réel d'un compresseur soit différent, on suppose que celui-ci fonctionne comme une pompe à piston, qui se compose d'un cylindre, d'un piston coulissant entraîné par un moteur et de deux soupapes.

- Le volume du corps de pompe V est compris entre 0 et V_m .
- À chaque cycle (aller et retour du piston), la pompe aspire et refoule une mole d'air.
- La soupape d'entrée Σ_1 est ouverte lorsque la pression P dans le corps de pompe est inférieure ou égale à la pression atmosphérique P_0 .
- La soupape de sortie Σ_2 s'ouvre lorsque P atteint P_1 .

1. Tracer sur un diagramme de Watt (P en ordonnée, V en abscisse) l'allure de la courbe représentant un aller et un retour du piston. Indiquer le sens de parcours.
2. Montrer que le travail de l'air situé à droite du piston est nul sur un aller-retour.
3. Montrer que le travail fourni par le moteur qui actionne le piston est égal à l'aire d'une surface sur le diagramme de Watt. On supposera que le mouvement est assez lent pour que l'évolution soit quasi-statique.
4. Pendant la phase de compression, l'air suit une loi polytropique $PV^k = \text{cte}$; il sort du compresseur à la température $T_1 = 391$ K. Trouver la valeur de k .
5. Exprimer le travail mécanique W_{moteur} fourni par le moteur pendant un aller-retour en fonction de R , n , k , T_1 et T_0 .
6. Le débit massique de l'air dans le compresseur est $D_m = 0,013$ kg · s⁻¹. Calculer la puissance du moteur $\mathcal{P}_{\text{moteur}}$ fournie par le moteur.

Exercice 8 : Évolutions irréversibles

Un volume d'air $V_1 = 2,00$ L est enfermé dans un cylindre vertical, fermé par un piston de surface $S = 20$ cm² et de masse négligeable. Le piston peut se déplacer verticalement sans frottement à l'intérieur du cylindre. L'air est considéré comme un gaz parfait diatomique et se trouve initialement à la température $T_1 = 298$ K sous la pression $P_1 = 1,013$ bar.

1. On pose sur le piston une masse $M = 1$ kg. Le piston descend brusquement puis se stabilise. La compression, rapide, est supposée adiabatique. Calculer la pression P_2 , la température T_2 et le volume V_2 du gaz à la fin de cette compression.
2. A la suite d'échanges thermiques à travers les parois du cylindre, le gaz revient lentement à la température $T_3 = T_1$. Déterminer la pression finale P_3 et le volume final V_3 du gaz.