Autour du premier principe

Exercice 1 CALORIMÈTRE

1. Un calorimètre contient 95,0 g d'eau à 20,0 °C. On ajoute 71,0 g d'eau à 50,0 °C. Quelle serait la température d'équilibre si on pouvait négliger la capacité thermique du vase et de ses accessoires ?
2. La température d'équilibre observée est 31,3 °C. En déduire la « valeur en eau » du vase et des accessoires, c'est-à-dire la masse d'eau à laquelle le vase et les accessoires sont équivalents du point de vue thermique.
3. Le même calorimètre contient maintenant 100 g d'eau à 15,0 °C. On y plonge un échantillon métallique pesant 25,0 g sortant d'une étuve à 95,0 °C. La température d'équilibre étant 16,7 °C, calculer la capacité thermique massique du métal.

Donnée : pour l'eau $c_e = 4{,}18$ J.g^{-1}.K^{-1}.

Exercice 2 CYLINDRE ET PISTON

De l'air, à la température T_0, est contenu dans un cylindre aux parois diathermanes, fermé par un piston également diathermane, de section S et de masse M. L'ensemble est placé dans l'air à la pression P_0. À l'équilibre, le piston se trouve à la distance h_1 du fond du récipient. L'air du cylindre subit une transformation monotherme, car il n'est en contact thermique qu'avec l'atmosphère dont la température T_0 est supposée constante. Dans l'état initial, l'air enfermé dans le cylindre est dans l'état (P_1,T_0,h_1).

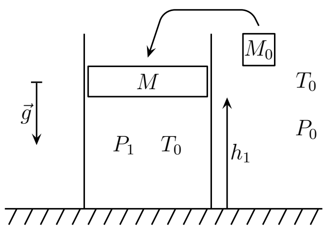


figure ①

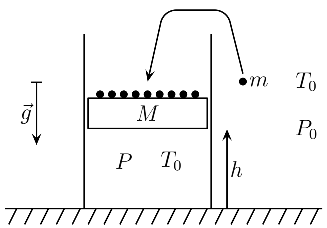


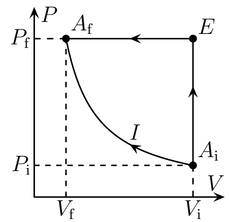
figure ②

1. On pose sur le piston la masse M_0 (cf. schéma ①). Après un certain temps, l'air du récipient se retrouve à la température T_0 et le piston se stabilise à la hauteur h_2.
   Calculer le travail W_T reçu par l'air intérieur ainsi que l'état final (P_2,T_0,h_2). Faire l'application numérique.
2. On pose successivement sur le piston des masses $m \ll M_0$ en attendant à chaque fois que la température de l'air intérieur se stabilise (à la valeur T_0) et que le piston s'immobilise ; on répète l'opération jusqu'à ce que la surcharge totale soit égale à M_0 (cf. figure ②).
   Calculer le travail W'_T reçu ainsi que l'état final (P_2,T_0,h'_2). Faire l'application numérique. Commentaire.

Données : $P_0 = 1{,}0.10^5$ Pa ; $g = 9{,}81$ m.s^{-2} ; $S = 0{,}10$ m^2 ; $M = M_0 = 100$ kg ; $h_1 = 1{,}0$ m ; $T_0 = 300$ K ; $\gamma = 1{,}4$.

Exercice 3 DIFFÉRENTS CHEMINS

On comprime une mole de dioxygène, assimilé à un gaz parfait diatomique d'une température initiale $T_i = 300$ K et d'une pression initiale $P_i = 1{,}00$ bar jusqu'à une température finale $T_f = T_i$ et une pression finale $P_f = 5{,}00$ bar. La compression peut se produire de deux façons différentes : la première A_iIA_f est isotherme et la seconde suit le chemin A_iEA_f.



1. Calculer le travail que le gaz reçoit au cours de l'évolution A_iIA_f.
   En déduire le tranfert thermique reçu.
2. Mêmes questions pour l'évolution A_iEA_f.

Exercice 4 CYCLE DE LENOIR

Un des premiers moteurs à deux temps à combustion interne fonctionne de la manière suivante :

➜ l'air et le carburant sont admis dans le cylindre ; à la fin de l'admission, l'air se trouve dans l'état A (P_1,V_1,T_1) ;

➜ la combustion du carburant (phase d'explosion) provoque une augmentation brutale de la pression à volume constant et fournit un transfert thermique Q_1 ; à la fin de cette étape, les gaz résiduels sont dans l'état B (P_2,V_1,T_2) ;

➜ ils se détendent ensuite de manière adiabatique jusqu'à l'état C (P_1,V_2,T_3), les paramètres étant en permanence connus (état d'équilibre thermodynamique interne) ;

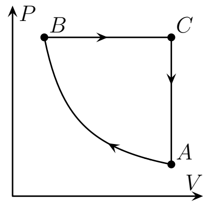
➜ enfin les gaz s'échappent du cylindre à pression constante P_1 et un nouveau cycle commence.

En négligeant la quantité de matière de carburant liquide, on assimilera l'air et les gaz brûlés à un gaz parfait dont le coefficient $\gamma = \dfrac{c_P}{c_V}$ vaut $\gamma = 1{,}4$.

1. Représenter, dans le diagramme de Watt, le cycle de transformation $ABCA$ du gaz contenu dans le cylindre.
2. Calculer le travail W reçu par n moles de gaz au cours d'un cycle en fonction de R (constante des gaz parfaits), γ et des températures T_1, T_2 et T_3.
3. Le rendement r est définit par $r = -\dfrac{W}{Q}$ où Q est le transfert thermique reçu lors de la combustion. Exprimer r d'abord en fonction de γ, T_1, T_2 et T_3 puis en fonction de γ et du rapport $a = \dfrac{V_2}{V_1}$.
4. Calculer r pour $a = 4$.

Exercice 5 CYCLE D'UN GAZ RÉEL

Une mole de gaz réel monoatomique contenue dans un cylindre décrit de manière quasi-statique et mécaniquement réversible le cycle $ABCA$ représenté dans le diagramme de Watt par la figure ci-contre. L'évolution AB est isotherme à la température $T_A = 301$ K ; au point A on donne $V_A = 5{,}00$ L et au point B, $V_B = 0{,}500$ L. L'évolution BC est isobare à la pression P_B ; l'évolution CA est isochore.



Ce gaz est décrit par son équation d'état et l'expression de son énergie interne :

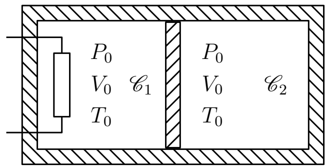
$$\left(P+\frac{n^2\,a}{V^2}\right)V=n\,R\,T \qquad \text{et} \qquad U=\frac{3\,n\,R\,T}{2}-\frac{a\,n^2}{V} \qquad \text{avec} \qquad a=0{,}135\ \text{m}^6.\text{Pa.mol}^{-2}$$

1. Calculer P_A, P_B, P_C et T_C.
2. Calculer le travail et le transfert thermique reçus par le gaz au cours de chacune des évolutions AB, BC et CA. Calculer leurs sommes et commenter.

Donnée : $R = 8{,}314$ J.K^{-1}.mol^{-1}.

Exercice 6 Bilans énergétiques

Un cylindre horizontal, clos, de volume invariable, est divisé en deux compartiments par un piston mobile sans frottement. Les parois du cylindre et le piston sont imperméables aux transferts thermiques. À l'état initial, les deux compartiments $\mathscr{C}_1$ et $\mathscr{C}_2$ contiennent un même volume $V_0 = 2{,}0$ L d'un gaz parfait monoatomique à la pression $P_0 = 1{,}0$ bar et à la température $T_0 = 273$ K. Le rapport des capacités thermiques vaut $\gamma = \dfrac{5}{3}$.

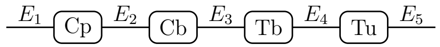


À l'intérieur du compartiment $\mathscr{C}_1$, une résistance élève la température de T_0 à T_1.

1. Justifier que l'on puisse supposer que le gaz contenu dans le compartiment $\mathscr{C}_2$ évolue de manière quasi-statique.
2. Déterminer les pressions, volumes et températures des compartiments $\mathscr{C}_1$ et $\mathscr{C}_2$ lorsque la pression du gaz contenu dans $\mathscr{C}_1$ vaut $P_1 = 3\,P_0$.
3. Calculer, pour chacun des deux compartiments, la variation d'énergie interne ainsi que le travail et le transfert thermique reçus.

Exercice 7 Turboréacteur

Un turboréacteur destiné à la propulsion d'avion est schématisé sur la figure suivante : l'air est comprimé dans le compresseur calorifugé (Cp) où il évolue de l'état E_1 à l'état E_2 ; puis l'air traverse une chambre de combustion (Cb) où il subit un réchauffement isobare de l'état E_2 à l'état E_3 ; puis il se détend dans une turbine calorifugée (Tb) où il évolue de l'état E_3 à l'état E_4 ; enfin l'air traverse une tuyère (Ty), conduite de section variable où il acquiert une vitesse importante et évolue de l'état E_4 à l'état E_5.



État	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
P (bar)	1,0	5,0	5,0	2,5	1,0
T (K)	288	$T_2 = ?$	1123	955	735

Les données concernant les différents états sont résumées dans le tableau ci-dessus.

L'installation fonctionne en régime stationnaire. On néglige l'énergie potentielle de pesanteur dans toute l'installation. On néglige l'énergie cinétique de l'air partout sauf dans l'état E_5 à la sortie de la tuyère, où la vitesse de l'air vaut c_5. L'air est assimilé à un gaz parfait de capacité thermique massique à pression constante $c_P = 1{,}0$ kJ.kg^{-1}.K^{-1} et de masse molaire $M = 29$ g.mol^{-1}. On rappelle que $R = 8{,}314$ J.K^{-1}.mol^{-1}.

1. Soit $\mathscr{S}$ le système ouvert constitué par le gaz contenu dans un étage quelconque du turboréacteur et $\mathscr{S}^\star$ le système fermé associé constitué à l'instant t par $\mathscr{S}$ et par la masse $\mathrm{d}m_\mathrm{e}$ d'air qui va rentrer dans l'étage entre les instants t et $t+\mathrm{d}t$ et constitué à l'instant $t+\mathrm{d}t$ par $\mathscr{S}$ et par la masse $\mathrm{d}m_\mathrm{s}$ qui est sortie de l'étage entre les instants t et $t+\mathrm{d}t$.

   En appliquant le premier principe à $\mathscr{S}^\star$, montrer que l'on a $\Delta h + \dfrac{1}{2}\Delta(c^2) = q + w$ où h est l'enthalpie massique, c est la vitesse de l'air, q est le transfert thermique reçu par unité de masse et w est le travail (autre que pneumatique) reçu par une unité de masse.
2. Déterminer la vitesse c_5 à la sortie de la tuyère.
3. Exprimer les travaux w_Cp et w_Tb reçus par unité de masse lors du passage respectivement dans le compresseur et dans la turbine en fonction des températures T_1, T_2, T_3 et T_4.

   Sachant que le travail récupéré dans la turbine sert exactement à entraîner le compresseur, calculer T_2.
4. Déterminer le transfert thermique q_Cb reçu par unité de masse d'air lors du passage dans la chambre de combustion.
5. En déduire le rendement thermodynamique du turboréacteur défini par $r = \dfrac{\frac{1}{2}{c_5}^2}{q_\mathrm{Cb}}$.