Sujet 1

I Pompe à chaleur d'un gaz parfait

Une pompe à chaleur effectue le cycle de Joule inversé suivant. L'air pris dans l'état A à la température T_0 et de pression P_0 est comprimé suivant une adiabatique réversible jusqu'au point B où il atteint la pression P_1. L'air est ensuite refroidi à pression constante et atteint la température finale de la source chaude T_1 correspondant à l'état C. L'air est encore refroidi dans une turbine suivant une détente adiabatique réversible pour atteindre l'état D de pression P_0. Il se réchauffe enfin à pression constante au contact de la source froide et retrouve son état initial. L'air est considéré comme un gaz parfait de rapport des capacités thermiques $\gamma = 1{,}4$ indépendant de la température. On pose $\beta = 1 - \frac{1}{\gamma}$ et $\alpha = \frac{P_1}{P_0}$.
On prendre $T_0 = 283\text{K}$, $T_1 = 298\text{K}$, $\alpha = 5$ et $R = 8{,}31\text{J} \cdot \text{K}^{-1}\text{mol}^{-1}$.

1. Représenter le cycle parcouru par les gaz dans un diagramme (P,v).
2. Rappeler les conditions nécessaires pour assurer la validité des lois de Laplace. Donner la loi de Laplace relative à la pression et la température, et la réécrire en fonction de β.
3. En déduire l'expression des températures T_B et T_D des états B et D en fonction de T_0, T_1, α et β.
4. Exprimer l'efficacité e de la pompe à chaleur en fonction des transferts thermiques.
5. En déduire l'expression de e en fonction de α et β. Donner sa valeur numérique.

Sujet 2

I Moteur ditherme fonctionnant avec des pseudo-sources

Soit un moteur réversible fonctionnant entre deux sources de même capacité thermique, $C = 4{,}0 \times 10^5\,\mathrm{J \cdot K^{-1}}$, dont les températures initiales respectives sont $T_{f,0} = 10\,°\mathrm{C}$ et $T_{c,0} = 100\,°\mathrm{C}$. Ces températures ne sont pas maintenues constantes.

1. Donner le schéma de principe de ce moteur au cours d'un cycle en indiquant par des flèches le sens des échanges de chaleur et de travail. On désignera par T_c la température de la source chaude et par T_f celle de la source froide. On définira des échanges énergétiques élémentaires δQ_c, δQ_f et δW. On pourra supposer les températures des sources constantes au cours d'un cycle.

2. Exprimer la température T des deux sources quand le moteur s'arrête de fonctionner en fonction de $T_{f,0}$ et $T_{c,0}$. Il sera utile d'appliquer le second principe au système subissant N cycles jusqu'à l'arrêt du moteur. Calculer T.

3. Exprimer le travail reçu W par ce moteur jusqu'à son arrêt en fonction de C, T, $T_{f,0}$ et $T_{c,0}$. Calculer W et interpréter le signe.

4. Exprimer, puis calculer le rendement global η. Comparer avec le rendement théorique maximal que l'on pourrait obtenir si les températures initiales des deux sources restaient constantes.

Sujet 3

I Variation d'entropie pour N transformations

Soit n moles de gaz ($n = 1$) parfait à la pression $p = 1$ bar et à température la $T_0 = 450\,\mathrm{K}$ (état 0). On comprime ce gaz de la pression p à $p' = 10$ bar de façon réversible et isotherme, puis, on détend le gaz de façon réversible et adiabatique de p' à p (état 1).

1. Représentez la suite des transformations dans un diagramme de Watt (p,V).

2. Calculez la température finale T_1 du gaz ainsi que la variation d'entropie ΔS_1 en fonction de n, p et p' et R la constante des gaz parfaits (On pourra utiliser l'expression de C_p en fonction de γ pour simplifier le résultat). Faire l'application numérique.

3. On recommence la même opération depuis l'état 1 (p,T_1) → état 2 (p,T_2) → … → état N (p,T_N). Complétez le diagramme de Watt et déterminez la variation d'entropie du gaz après les N opérations ainsi que la température finale T_N et enfin la variation d'énergie interne ΔU_N en supposant le gaz parfait monoatomique.
   Faîtes ensuite les applications numériques pour $N = 5$.

4. Voyez-vous une application ? Discuter l'hypothèse du gaz parfait si N grand

Rappel pour un GP :

$$S_m(T_f,p_f) - S_m(T_i,p_i) = C_{p,m} \ln \frac{T_f}{T_i} - R \ln \frac{p_f}{p_i}$$

Sujet 4

I Chauffage isobare d'un gaz parfait

On considère une enceinte calorifugée, fermée par un piston libre de coulisser sans frottements, contenant un gaz parfait. La pression extérieure est notée p_0. Initialement, le volume de l'enceinte est $V = V_0$, la température et la pression du gaz T_0 et p_0.
Il y a dans l'enceinte un résistor de capacité thermique négligeable, alimenté par un générateur de courant idéal délivrant l'intensité I supposée faible.
On considère dans un premier temps que la résistance du résistor est constante : R_0

1. Réaliser un schéma de l'expérience.

2. Justifier que la transformation subie par le gaz parfait présent dans l'enceinte est quasi-statique et isobare.

3. Déterminer l'évolution de la température du gaz au cours à l'instant t. On pourra pour cela appliquer le premier principe de la thermodynamique à un système judicieusement choisi entre l'instant initial $t_0 = 0$ et l'instant t.

4. En déduire l'expression de l'évolution du volume V au cours du temps.

On considère maintenant que la résistance varie avec la température selon la loi $R(T) = R_0 \frac{T}{T_0}$.

5. Reprendre alors les questions 3 et 4.

Sujet 5

I Moteur réel ($\star$)

Un moteur réel fonctionnant entre deux sources de chaleur, l'une à $T_F = 400\,\mathrm{K}$, l'autre à $T_C = 650\,\mathrm{K}$, produit $500\,\mathrm{J}$ par cycle pour $1500\,\mathrm{J}$ de transfert thermique fourni.

1. Déterminer son rendement.

2. Quel serait le rendement d'une machine de Carnot fonctionnant entre les deux mêmes sources ? Comparer les deux rendements.

3. Calculer l'entropie créée par cycle notée $S_{\text{créée}}$.

4. Montrer que la différence entre le travail fourni par la machine de Carnot et la machine réelle est égale à $T_F \times S_{\text{créée}}$, pour une dépense identique.

Sujet 6

I Cycle de Joule (⋆⋆)

Une mole de gaz parfait diatomique décrit un cycle moteur dit de Joule constitué par :

- deux adiabatiques réversibles AB et CD,
- deux isobares BC et DA.

Données. $A(P_0 = 1\,\mathrm{bar}, T_0 = 280\,\mathrm{K})$, $B(P_1 = 10\,\mathrm{bar}, T1)$, $C(P_1, T_2 = 1000\,\mathrm{K})$, $D(P_0, T_3)$.

1. Tracer l'allure du cycle dans le plan (P, v)
2. Calculer T_1 et T_3.
3. Exprimer le rendement de ce moteur en fonction de $a = P_1/P_0$ et γ. Calculer sa valeur.