

Exercice 1 *Raisonnement avec des moteurs schématiques*

1. À l'aide d'un raisonnement similaire à celui fait en cours, démontrer que l'interdit de Kelvin implique l'interdit de Clausius.
2. Montrer que le théorème du rendement maximal implique l'interdit de Kelvin.
Note : avec ces deux démonstrations nous aurons démontré l'équivalence totale des trois propositions.
3. Démontrer le corollaire au théorème du rendement maximal : un moteur ditherme réversible a forcément l'efficacité du moteur idéal de Carnot.
4. Avec nos dessins symboliques de moteurs/p.a.c. dithermes, nous pouvons en principe faire huit dispositifs en testant tous les sens possibles pour les échanges W , Q_h et Q_b . Certains de ces dispositifs violent le premier principe, d'autres le deuxième principe et d'autres sont sans intérêt. On retrouvera nos moteurs et p.a.c./frigo. Analyser et classer chacun de ces dispositifs.

Exercice 2 *Efficacités p.a.c./frigo réels*

1. Montrer que pour une pompe à chaleur, l'efficacité d'une p.a.c. réelle est toujours inférieure à $\frac{1}{1 - \frac{T_b}{T_h}}$, qui est l'efficacité d'une p.a.c. de Carnot idéale.

$$\eta_{\text{p.a.c.}} = \frac{1}{1 + \frac{Q_b}{Q_h}} \leq \frac{1}{1 - \frac{T_b}{T_h}} = \eta_{\text{p.a.c.}}^{\text{rév.}}$$

2. Montrer que pour un frigo, l'efficacité d'un frigo réel est toujours inférieure à $\frac{1}{\frac{T_h}{T_b} - 1}$, qui est l'efficacité d'un frigo de Carnot idéal.

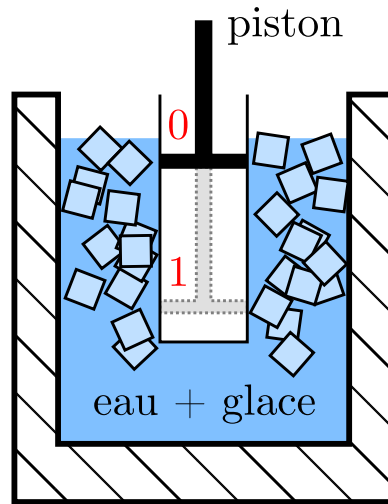
$$\eta_f = \frac{1}{-\frac{Q_h}{Q_b} - 1} \leq \frac{1}{\frac{T_h}{T_b} - 1} = \eta_f^{\text{rév.}}$$

Exercice 3 *Piston dans la glace (formulation examen)*

On considère le dispositif suivant : un cylindre en contact thermique avec l'eau et fermé par un piston, contenant $n = 0,1$ mole de gaz parfait ($\gamma = 1,4$) est plongé dans un récipient contenant de l'eau et des glaçons en équilibre à $T_0 = 0^\circ\text{C}$. On suppose le récipient contenant l'eau et les glaçons parfaitement isolé de l'extérieur. On comprime très doucement le piston, de V_0 à $V_1 = V_0/5$, on le ramène rapidement mais de manière réversible à V_0 , puis on laisse le gaz rétablir sa température en maintenant le volume V_0 .

1. Dessiner la transformation dans un diagramme de Clapeyron (p, V) en précisant les principales étapes et la nature des transformations.
2. Lors de la transformation, est-ce que la quantité de glace augmente ? diminue ? reste constante ? Justifier.
3. Calculer la masse m de glace formée/fondue lors d'un cycle.

4. Application numérique : estimer l'ordre de grandeur uniquement de la masse m .
Données : chaleur latente de fusion de la glace $L = 334 \text{ kJ/kg}$, $R = 8,3 \text{ J/(K mol)}$, $T_0 = 273 \text{ K}$. On prendra $\ln(5) = 1,6$ et $5^{-0,4} = 0,5$.
5. Est-il possible de faire fonctionner le cycle dans l'autre sens pour inverser le processus de formation/fonte de la glace ? Si non, identifier l'étape du cycle qui est irréversible.
6. Calculer l'entropie $S^{\text{créée}}$ créée lors d'un cycle.



Exercice 4 Cycle de Stirling en p.a.c./frigo

On considère un cycle de Stirling effectué par n moles de gaz parfait en mode p.a.c./frigo.

1. Calculer les travaux et chaleurs échangés sur chacune des parties du cycle.
2. Le dispositif dispose d'un régénérateur idéal. Calculer l'efficacité en mode pompe à chaleur et l'efficacité en mode frigo.
3. En l'absence de régénérateur, calculer l'efficacité en mode p.a.c. et en mode frigo.
4. Toujours en l'absence de régénérateur, calculer l'entropie créée sur un cycle.

Exercice 5 Moteur entre deux sources dont T varie

On considère deux corps identiques, isolés du milieu extérieur, de capacité calorifique à volume constant commune C_V et dont les variations d'énergie interne sont $dU = C_V dT$.

1. Les températures initiales des deux corps sont $T_{1,0}$ et $T_{2,0}$ avec $T_{1,0} > T_{2,0}$. Ils sont mis en contact thermique, cette opération ayant lieu à volume constant. Exprimer la température finale d'équilibre en fonction de $T_{1,0}$ et $T_{2,0}$.
2. On veut maintenant utiliser la différence de température des deux corps précédents pour faire fonctionner un moteur thermique idéal de Carnot. Le corps chaud initialement à la température $T_{1,0}$ constitue alors la source chaude, et le corps froid, initialement à $T_{2,0}$, la source froide du système. Pour chaque cycle décrit par la machine thermique, on considère que la température des deux corps varie de façon infinitésimale.
 - (a) Calculer la température finale T_f des deux corps en fonction de $T_{1,0}$ et $T_{2,0}$. La température obtenue est-elle plus élevée ou plus faible que celle obtenue en 1.? Expliquer.
 - (b) Calculer le travail fourni en fonction de C_V , $T_{1,0}$ et $T_{2,0}$.