Travaux dirigés 3 : Thermodynamique

Exercice 1 :

Prouver qu'il est impossible de créer un moteur avec une unique source de chaleur. Utiliser les deux principes de la thermodynamique afin d'obtenir un ensemble d'équation montrant une contradiction, et donc, l'impossible de l'existence d'un moteur à une seule source.

Exercice 2 :

1. Dessiner le schéma énergétique d'une pompe à chaleur.
2. Calculer son COP en détaillant chaque étape.
3. Que vaut-il dans le cas où toutes les transformations sont réversibles ?

Exercice 3 :

Le moteur de Stirling est constitué de deux chambres, une chaude et une froide, reliées par un régénérateur de volume constant pouvant être constitué de fils de cuivre tressés. Le gaz, en circuit fermé, reçoit un transfert thermique d'une source chaude (par exemple une chaudière à combustion) et cède un transfert thermique à la source froide (par exemple l'atmosphère).

Le rôle du régénérateur, base de l'invention de Robert Stirling, est fondamental pour obtenir une bonne efficacité. Dans son brevet original de 1816, Stirling explique que le gaz chaud entre dans la partie chaude du régénérateur et est progressivement refroidi durant son parcours pour ressortir par l'autre extrémité à une température presque identique à la température de la source froide. Dans le parcours inverse, le gaz est progressivement réchauffé. Cette astuce technologique permet d'avoir une partie des échanges thermiques internes au moteur. On considérera le cycle parcouru par n = 40 mmol d'air, considéré comme un gaz parfait.

Dans un premier temps, on néglige le régénérateur : les deux chambres ne font qu'une. Le cycle de Stirling est alors modélisable par la succession de deux isothermes et deux isochores à partir d'un état 1 ($P_1 = 1$ bar, $T_1 = 300$ K). Il est décrit comme suit :

- $1 \rightarrow 2$: compression isotherme réversible à $T_f = T_1$ jusqu'à l'état 2 où $V_2 = V_1/10$;
- $2 \rightarrow 3$: échauffement isochore au contact de la source chaude à Tc = 600 K jusqu'à l'état 3 de température $T_3 = T_c$;
- $3 \rightarrow 4$: détente isotherme réversible au contact de la source chaude à T_c jusqu'à l'état 4 de volume $V_4 = V_1$;
- $4 \rightarrow 1$: refroidissement isochore au contact de la source froide jusqu'à revenir à l'état 1.

1. Calculer les valeurs numériques de P, V et T pour chacun des quatre états
2. Calculer pour chaque étape le travail et le transfert thermique reçus par le gaz. Pour un gaz parfait, on donne $c_v = \frac{nR}{0,4}$
3. Commenter ces résultats : a-t-on bien un cycle moteur ?
4. Donner l'expression et la valeur du rendement

L'invention du régénérateur par Stirling a permis d'améliorer considérablement le rendement de la machine précédente. Son idée est de faire en sorte que le gaz échange du transfert thermique au cours des transformations $2 \rightarrow 3$ et $4 \rightarrow 1$ non pas avec les thermostats mais avec un système, le régénérateur, qui n'échange aucune énergie autrement qu'avec les gaz au cours des transformations $2 \rightarrow 3$ et $4 \rightarrow 1$.

5. Justifier l'idée de Stirling.
6. Que vaut le rendement dans ces conditions ? Ce rendement peut-il être amélioré sans changer les sources ?