

TD 6 : Second principe de la thermodynamique - - cycles moteurs et inverses

Exercice 1 : Puissance moyenne d'un climatiseur

Un climatiseur fonctionne de façon cyclique réversible entre l'air extérieur jouant le rôle de source chaude à une température $T_e = 308\text{ K}$, et un local isolé, de capacité thermique $C = 10^4\text{ kJ K}^{-1}$, jouant le rôle de source froide et initialement à la température de l'air extérieur. Le climatiseur doit ramener la température du local à 295 K en deux heures. En supposant que le rendement énergétique du moteur électrique du climatiseur est optimal, calculer la puissance électrique moyenne P reçue par ce climatiseur.

Exercice 2 : Cycle de Diesel idéal

Le moteur Diesel est un moteur à combustion interne dont l'allumage n'est pas commandé par des éclateurs mais une compression élevée. L'air et le carburant sont comprimés séparément, le carburant n'étant injecté que dans la chambre de combustion et progressivement. Le premier moteur de ce type a été mis au point par l'allemand R. Diesel en 1893. Il fonctionne suivant le cycle éponyme constitué de deux isentropiques, d'une isobare et d'une isochore. Plus précisément, le cycle peut être décrit en quatre temps :

- 1) un cylindre admet l'air seul à travers une soupape d'admission dans un volume V_A (portion IA du cycle) ;
- 2) les soupapes sont fermées. L'injection de combustible démarre au point B et est progressive jusqu'à un point C de sorte que la pression reste constante ;
- 3) les soupapes sont toujours fermées et les produits de la combustion subissent une détente isentropique en repoussant le piston jusqu'à sa position initiale (portion CD) ;
- 4) La soupape d'échappement s'ouvre : la pression chute brutalement (portion DA), et les gaz brûlés sont évacués.

Le cycle est caractérisé par le taux de compression volumétrique $\alpha = V_A/V_B$ et le rapport de détente préalable $\beta = V_C/V_B$. Les températures du mélange en A et C valent $T_A = 293\text{ K}$ et $T_C = 1220\text{ K}$.

(a) Tracer schématiquement ce cycle de Diesel dans le diagramme de Clapeyron, en faisant figurer les 5 points I , A , B , C et D .

(b) Identifier sur le cycle les quantités de chaleur échangées et leurs signes, les travaux fournis et leurs signes, et écrire le bilan thermique sur un cycle.

(c) Donner l'expression des quantités de chaleur échangées et donner l'expression du rendement η de ce moteur thermique. Faire l'application numérique.

(d) Montrer que le rendement de ce moteur ne dépend que du taux de compression α et du rapport de détente β .

Pour l'application numérique, on considère : $\gamma = 1.4$, $\alpha = 14$ et $\beta = 1.55$.

Exercice 3 : Machine frigorifique et coefficient de performance

Une machine frigorifique fonctionne suivant un cycle de Carnot inverse relatif à 1 kg d'air en évolution entre une source chaude à la température $T_C = 873\text{ K}$ et une source froide à la température $T_F = 288\text{ K}$. L'air est assimilé à un gaz parfait de caractéristiques $r = 287\text{ J/(kg K)}$, $C_V = 713\text{ J/(kg K)}$ et $C_P = 1000\text{ J/(kg K)}$. Le cycle est composé des évolutions suivantes : isotherme de l'état 1 à 2, adiabatique de l'état 2 à 3, isotherme de l'état 3 à 4, adiabatique de l'état 4 à 1. Les températures et pressions des différents états sont données dans le tableau suivant :

	Pression (Pa)	Température (K)
Etat 1	$1,55 \cdot 10^5$	288
Etat 2	10^5	288
Etat 3	$3,6 \cdot 10^6$	873
Etat 4	$5,6 \cdot 10^6$	873

On notera $W_{i \rightarrow j}$ et $Q_{i \rightarrow j}$ les travaux et quantités de chaleur échangés par la machine avec l'extérieur durant la transformation de l'état i à l'état j .

- À l'aide du premier principe calculer les travaux $W_{2 \rightarrow 3}$ et $W_{4 \rightarrow 1}$.
- Calculer les travaux et quantités de chaleur : $W_{1 \rightarrow 2}$, $Q_{1 \rightarrow 2}$, $W_{3 \rightarrow 4}$ et $Q_{3 \rightarrow 4}$.
- Déduire des résultats précédents : le travail total échangé avec l'extérieur, la quantité de chaleur Q_C échangée entre la machine et la source chaude, et la quantité de chaleur Q_F échangée entre la machine et la source froide. Justifier ensuite que la machine est une machine frigorifique.
- Calculer son coefficient d'efficacité frigorifique, ou coefficient de performance.
- Retrouver le résultat précédent à partir du rendement d'un moteur de Carnot opérant entre les mêmes températures.