UNIVERSITE
PAUL
SABATIER
TOULOUSE III

année 2003/2004

Licence Physique Chimie et Applications
Mention physique
L2

Travaux Dirigés de thermodynamique
Texte 8 : Machines Thermiques

I. Pompe à chaleur à fluide monophasé- Cycle de Joule récepteur

Pour maintenir la température d'une pièce à la valeur T_1= 20°C alors que la température extérieure est à T_2 = 5°C , il faut lui fournir une puissance P de 55 kW. On utilise pour cela une pompe à chaleur. Le fluide caloporteur est un gaz parfait de masse molaire M= 29 g.mol^{-1} dont le rapport γ vaut 1,4.

1.- Donner le schéma de principe de la pompe à chaleur en indiquent par des flèches les sens des échanges de chaleur et de travail.

2.- La pompe à chaleur fonctionne suivant un cycle de Joule, constitué de deux transformations adiabatiques et de deux transformations isobares aux pressions $p_1 = 3.10^5$ Pa et $p_2 = 1.10^5$ Pa au cours desquelles se produisent les échanges thermiques avec respectivement les sources chaude et froide .

On suppose qu'à la fin de chaque transformation isobare, le fluide se trouve à l'équilibre thermique avec la source de chaleur au contact de laquelle il a évolué.

a) Représenter le cycle de Joule dans le diagramme de Clapeyron. Préciser le sens de fonctionnement.
b) A quelles phases de ce cycle le fluide caloporteur atteint-il les températures extrêmes ?
c) Calculer les quantités de chaleur Q_1 et Q_2, par kg de fluide caloporteur, mises en jeu au contact des sources chaude et froide au cours d'un cycle.
d) Calculer en kg.h^{-1} le débit massique du fluide caloporteur dans l'installation.
e) Calculer le travail W reçu algébriquement par la pompe à chaleur au cours d'un cycle ainsi que le coefficient de performance thermique (COP) de la pompe à chaleur.
f) Comparer ce coefficient de performance à celui que l'on obtiendrait si la pompe à chaleur fonctionnait selon un cycle de Carnot entre les mêmes sources aux températures T_1 et T_2.
g) En déduire le rendement de l'installation défini par $r = \dfrac{(COP)_R}{(COP)_C}$

II. Moteur diesel

On considère un moteur à combustion interne fonctionnant suivant le cycle réversible Diesel MABCDAM, cycle composé d'une transformation isobare et d'une transformation isochore, reliées par deux transformations adiabatiques:

- $M \rightarrow A$: Admission de l'air dans le cylindre à la pression atmosphérique et à la température ambiante (P_A = 1 atm, T_A = 300 K et $V_A = V_{max}$),
- $A \rightarrow B$: Compression adiabatique réversible de l'air ($V_B = V_{min}$)
- $B \rightarrow C$: Combustion isobare par injection progressive du gazole entre B et C,
- $C \rightarrow D$: L'injection cesse en C et le mélange subit une détente adiabatique réversible jusqu'à l'état D
- $D \rightarrow A$: Refroidissement isochore,
- $A \rightarrow M$: Refoulement des gaz brûlés vers l'extérieur à la pression atmosphérique

Le système étudié est le gaz qui décrit le cycle ABCA. La quantité de gaz considérée est celle qui a été admise dans l'état A. Le transfert de quantité de chaleur de la transformation isobare BC est due à la combustion interne du mélange gazeux. On admettra, pour simplifier, que la quantité de gaz n'est pas modifiée par la combustion interne. L'excès d'air nécessaire à la combustion du carburant sera considéré comme suffisant pour que dans toutes les

transformations du cycle, le mélange gazeux comprimé, détendu, chauffé ou refroidi, puisse être assimilé a cet air. On ne tiendra compte de la masse du carburant que pour évaluer la quantité de chaleur reçue au cours du cycle.
On admettra que le mélange gazeux air-gazole est assimilable à un gaz parfait, que les capacités thermiques massiques à pression et volume constants C_{Pm} et C_{Vm} sont indépendantes de la température, que leur rapport γ vaut 1,4 et que $C_{pm} = 1$ kJ.kg^{-1}.K^{-1}.

1.- Représenter le cycle Diesel sur un diagramme de Clapeyron, puis sur un diagramme entropique.

2.- Montrer que le rendement du cycle Diesel s'écrit : $r = 1 - \dfrac{1}{\gamma}\dfrac{T_A}{T_B}\dfrac{(1 - T_A/T_D)}{(1 - T_C/T_B)}$

3.- Exprimer alors les températures T_B, T_C, et T_D en fonction de T_A, γ, x et y où x et y sont respectivement les taux de compression et de détente volumique : $x = \dfrac{V_{max}}{V_{min}} = \dfrac{V_A}{V_B}$ et $y = \dfrac{V_A}{V_C}$.

4.- Montrer que le rendement r ne dépend que γ, x et y : $r = 1 - \dfrac{x^{1-\gamma}}{\gamma}\dfrac{[1 - (x/y)^{\gamma}]}{(1 - x/y)}$

5.- Sur la fiche technique d'une Peugeot 307 2.0 HDi, on peut lire les caractéristiques suivantes :

- Cylindrée : $V_{max} - V_{min} = Cy = 1997$ cm^3
- Puissance maximale à 4000 tours/mn : 110 Ch / 79 kW
- Taux de compression volumique : $x = \dfrac{V_{max}}{V_{min}} = 17.6$
- Vitesse à 3000 tours / mn : 134 km/h
- Consommation à 134 km/h: 6 l de gazole aux 100 km

On admettra pour simplifier que le moteur diesel de ce véhicule a un cylindre unique (en réalité 4), dont le cycle se déroule pendant deux tours de vilebrequin et quatre courses du piston (moteur dit quatre temps). Le gazole a une masse volumique $\rho = 845$ kg.m^{-3} et un pouvoir calorifique $q = 46{,}8.10^3$ kJ.kg^{-1}.

a) Calculer V_{max}, V_{min} et la température T_B de l'air à la fin de la compression.

b) Déterminer la masse d'air admise à chaque cycle.

c) Déterminer la masse de gazole injectée à chaque cycle.

d) On suppose la combustion complète du gazole. Quelle est alors la valeur de la température T_C en fin de combustion? En déduire le taux de détente volumique $y = \dfrac{V_A}{V_C}$.

e) Calculer la quantité de chaleur $Q_2 = Q_{DA}$ échangée pendant la transformation isochore DA.

f) Calculer le rendement théorique r de ce moteur diesel. En déduire le travail W fourni au cours d'un cycle. Calculer la puissance du moteur en watts et en chevaux (ch) (1ch = 736 watts). Commentaires ?