

ISEN

ALL IS DIGITAL!

LILLE

yncréa 

Année universitaire 2019 - 2020

DM : Thermodynamique

Groupes : CIR1 – CNB1

Date : Mercredi 6 mai 2020 de 10h à 12h.

Avertissement:

- La note prendra en compte la qualité de la rédaction et la présentation de la copie.

Exercice 1

Une pompe à chaleur fonctionne suivant un cycle de Carnot effectué par un fluide qui reçoit effectivement du travail et échange de la chaleur avec deux sources. Ce cycle est constitué par deux **transformations adiabatiques et deux transformations isothermes toutes quatre réversibles.**

La pompe à chaleur fonctionne avec de l'air et sert à chauffer la carlingue d'un avion volant à haute altitude. La source froide est constituée par l'air extérieur à la pression P_1 et à la température $T_1 = 248 \text{ K}$. La source chaude est l'air de la carlingue à la pression P_2 et à la température $T_2 = 293 \text{ K}$.

L'air est assimilé à un gaz parfait ($R/M = r = 287 \text{ J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et $\gamma = 1,4$). On désigne par V_A et V_D ($V_A > V_D$) les volumes de l'air aux extrémités A et D de l'isotherme T_1 et par V_B et V_C ($V_B > V_C$) les volumes aux extrémités B et C de l'isotherme T_2 .

- 1- Faire un schéma de l'installation en indiquant le sens d'échange d'énergie. Expliquer brièvement le principe du fonctionnement de cette machine.
- 2- Représenter le cycle effectué par le fluide de la pompe dans un diagramme (P, V) puis dans un diagramme entropique (T, S).
- 3- D'après le premier principe ΔU et le bilan entropique ΔS , déterminer en fonction du travail reçu W_t , de T_1 et de T_2 les chaleurs Q_1 et Q_2 reçues par la pompe de la part des sources aux températures T_1 et T_2 . En déduire leurs signes.
- 4- Exprimer en fonction de V_A , V_B , V_C , V_D , T_1 et T_2 , les travaux (W_{AB} , W_{BC} , W_{CD} , W_{DA}) reçus par 1 kg d'air de la pompe lors des quatre transformations constituant le cycle.
- 5- Le travail total peut s'écrire sous la forme:

$$W_t = -\frac{mR}{M} \left[T_2 \ln \left(\frac{V_C}{V_B} \right) + T_1 \ln \left(\frac{V_A}{V_D} \right) \right]$$

En utilisant les formules de Laplace pour les transformations adiabatiques, On obtient :

$$V_D = V_C \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$
$$V_B = V_A \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

Calculer V_D , V_B et le travail W_t .

On donne $V_A = 2,37 \text{ m}^3$ et $V_C = 0,84 \text{ m}^3$ et $m = 1 \text{ kg}$.

- 6- Calculer à l'aide des données précédentes, la quantité de chaleur fournie par la source froide Q_1 et la quantité de chaleur reçue par la carlingue Q_2 . Conclure.
- 7- Calculer numériquement le COP (COefficient de Performance) de cette pompe à chaleur.

Exercice 2

La turbine à gaz est un moteur thermique réalisant les différentes phases de son cycle thermodynamique dans une succession d'organes traversés par un fluide moteur gazeux en écoulement continu. C'est une différence fondamentale par rapport aux moteurs à pistons qui réalisent une succession temporelle des phases dans un même organe (généralement un cylindre).

Dans sa forme la plus simple, la turbine à gaz fonctionne selon le cycle dit de Joule comprenant successivement et schématiquement:

- une compression adiabatique qui consomme de l'énergie mécanique,
- un chauffage isobare comme pour un moteur Diesel,
- une détente adiabatique jusqu'à la pression ambiante qui produit de l'énergie mécanique,
- un refroidissement isobare.

Le but de ce problème est d'étudier le fonctionnement d'un moteur de type turbine à gaz à combustion interne.

Pour cette machine thermique, un gaz, que l'on supposera parfait décrit, en circuit fermé, les évolutions suivantes:

- Le gaz, pris dans l'état **1**: pression P_1 et de température T_1 , traverse un compresseur dans lequel il subit une évolution adiabatique réversible jusqu'à l'état **2** (sa température est alors, T_2 et sa pression P_2).
 - Il se trouve, ensuite, en contact avec une source chaude où il se réchauffe de façon isobare, jusqu'à la température T_3 ; il est dans l'état **3**.
 - Le gaz pénètre, ensuite, dans la turbine où il se détend de manière adiabatique réversible jusqu'à la pression P_4 . En fin de détente sa température est T_4 ; il est dans l'état **4**
 - Il achève, enfin, de se refroidir d'une façon isobare au contact d'une source froide pour se retrouver dans l'état **1**.
1. Tracer l'allure du cycle de cette machine dans un diagramme de Clapeyron (V , P) en indiquant son sens de rotation.
 2. Donner la relation entre P_2 et P_3 .
 3. Aide: Lors d'une évolution adiabatique réversible, un gaz parfait suit la loi de Laplace $PV^\gamma = Cte$ où $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ est le rapport des capacités thermiques molaires, à pression et volume constants.
Ce rapport est supposé être indépendant de la température.
- a) Réécrire cette loi en fonction des variables T , P et le rapport γ .

- b)** En déduire les expressions des températures T_2 et T_4 en fonction de P_1 , P_2 , T_1 , T_3 et γ .
4. Préciser, pour une mole de gaz, les expressions des quantités de chaleur $Q_c = Q_{23}$ et $Q_F = Q_{41}$ échangées respectivement avec la source chaude et la source froide.
- 5.
- a)** Donner l'expression mathématique du Premier Principe de la thermodynamique
- b)** En utilisant le Premier Principe, donner l'expression du travail global W fourni à cette mole de gaz, pendant un cycle, en fonction de C_p et des températures T_1 , T_2 , T_3 et T_4 .
6. Le rapport $\tau = \frac{P_2}{P_1}$ est généralement imposé par les limites de résistance mécanique du compresseur.
- a)** Le rendement de ce moteur est représenté par le rapport $\eta_{th} = \frac{-W}{Q_c}$

Montrer que le rendement théorique s'écrit $\eta_{th} = 1 - \tau^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$.

- b)** Avec lequel des trois gaz (argon, air, dioxyde de carbone) obtiendra-t-on le meilleur rendement? Justifier à l'aide des valeurs données en fin d'énoncé.

c) Applications numériques

Calculer les valeurs des températures T_2 , T_4 et celle de η_{th} pour:

$\gamma = 1,67$; $\tau = 4,0$; $P_1 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$; $T_1 = 300 \text{ K}$; $T_3 = 900 \text{ K}$

Gaz	Argon	Air	Dioxyde de carbone
γ	1,67	1,4	1,31