

Examen de Thermodynamique

Licence Sciences et Techniques - 2^{ème} année
- Phys4B -
- Contrôle Terminal -
le 7 mai 2024

durée de l'examen : 2h00 - calculatrice autorisée

Cet examen comporte 2 parties indépendantes pour un total de 22 points.
Les applications numériques, lorsqu'elles sont demandées, seront posées (valeurs et unités) à partir des formules établies avec la valeur approchée du résultat dans votre rédaction.

I - Cycle du moteur Diesel . (14 points).

Inventé par Rudolf Diesel dans les années 1890, un gaz parfait suit les 4 transformations suivantes :

- de l'état (1) (T_1, P_1, V_1) à l'état (2) (T_2, P_2, V_2) : une compression adiabatique.
- de l'état (2) à l'état (3), (T_3, P_3, V_3) : une détente isobare.
- de l'état (3) à l'état (4), (T_4, P_4, V_4) : une détente adiabatique.
- de l'état (4) à l'état (1) : un refroidissement isochore.

Considérant ces 4 transformations comme réversibles, on définit :

- les paramètres de compression $\alpha = V_1/V_2$ et $\beta = V_4/V_3$.
- ainsi que $\gamma = c_{p,n}/c_{v,n}$ le rapport des capacités calorifiques de ce gaz.

On donne :

- $\gamma = 7/5$, $\alpha = 9$, $\beta = 3$.
- $P_1 = 1,0$ bar, $T_1 = 300K$, $c_{v,n} = 20,8$ J.K⁻¹ et $R = 8,314$ J.K⁻¹.mol⁻¹.

Pour une mole de gaz :

- 1°) Exprimer puis calculer le volume V_1 .
- 2°) Rappeler la relation de Laplace utilisable dans le cadre d'une transformation adiabatique et réversible.
- 3°) Etablir les expressions de la pression, du volume et de la température pour les différents états en fonction de P_1 , T_1 , α , β et γ . (On se servira de la définition des facteurs de compression pour exprimer les volumes V_2 et V_3).
- 4°) Calculer numériquement ces valeurs.
- 5°) Donner les expressions du travail et des quantités de chaleur échangés au cours des différentes transformations en fonction de T_1 , $c_{v,n}$, α , β et γ .

- 6°) Faire les applications numériques et préciser si les différentes quantités sont reçues ou fournies par le système.
- 7°) On définit le rendement ρ du moteur Diesel comme $\rho = |W_{total}|/Q_{recue}$:
 - a- à partir du premier principe appliqué à un cycle, donner l'expression de W_{total} en fonction des quantités de chaleurs échangées.
 - b- en déduire que ρ peut s'écrire sous la forme $\rho = 1 + Q_{4\rightarrow 1}/Q_{2\rightarrow 3}$.
 - c- calculer ρ .
- 8°) Représenter le cycle de Diesel dans un diagramme de Clapeyron. On fera apparaître les isothermes relatives à T_1, T_2, T_3 et T_4 et le sens de parcours du cycle.

II - Calcul différentiel - Gaz réel. (8 points). L'équation d'état d'un gaz réel, déterminée expérimentalement, ayant permis d'établir la relation suivante entre les variables thermodynamiques P, V et T :

$$PV = aT + bP$$

P étant la pression absolue du gaz, V le volume occupé par celui-ci et T sa température (Les coefficients a et b sont des paramètres caractéristiques du gaz étudié).

- 1°) Donner les unités des coefficients a et b dans le système international.
- 2°) Les coefficients thermoélastiques α et β étant définis par les relations :

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad \text{et} \quad \beta = \frac{1}{P} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$$

- a) calculer α et β en fonction uniquement des variables P et T ainsi que des paramètres a et de b de ce gaz.
- b) les comparer à ceux d'un gaz parfait.

- 3°) Les échanges de chaleur infinitésimaux s'écrivant :

$$\delta Q = c_v dT + l dV \quad \text{ou} \quad \delta Q = c_p dT + h dP$$

et les relations de Clapeyron définissant l et h étant :

$$l = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \quad \text{et} \quad h = -T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

- a) établir les expressions de l et h pour le gaz étudié en fonction de P et V uniquement.
- b) les comparer à ceux obtenus pour un gaz parfait.

- 4°) la relation de Mayer généralisée étant donnée par :

$$c_p - c_v = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

exprimer $c_p - c_v$ dans le cas du gaz étudié.

- 5°) Discuter la signification physique du coefficient b et les éventuelles différences de comportement de ce gaz par rapport à celui d'un gaz parfait concernant notamment la première et la seconde loi de Joule.