

DEVOIR DE RÉDACTION N°4

À RENDRE LE MARDI 30 AVRIL

Ce devoir issu d'annales est là pour vous familiariser avec la rédaction à adopter le jour du concours. Les résultats ainsi que la démarche à suivre vous sont données au fil des questions pour vous permettre de vous concentrer uniquement sur ce travail de rédaction.



Cycle du moteur diesel

Le moteur conçu par Rudolph Diesel dans les années 1890 est différent du moteur à essence de Beau de Rochas vu en TD, car l'air seul est comprimé à une température au delà du point d'inflammation avant que ne soit injecté, dans la chambre de combustion, le carburant qui s'auto-enflamme alors (sans l'aide des bougies). Le problème du contrôle de la détonation ne se pose pas, ce qui donne lieu à deux avantages : les taux de compressions atteints (le rapport du volume maximal sur le volume minimal lors de la course du piston) peuvent être plus élevés ce qui autorise des rendements plus importants, et les combustibles utilisés peuvent être moins raffinés.

On considère donc un moteur ditherme fonctionnant selon le cycle de Diesel. On considère n moles de gaz dans le moteur, qui circule en système fermé, modélisé comme un gaz parfait avec $\gamma = 1.4$ le coefficient adiabatique (supposé indépendant de la température). On prendra les valeurs $c_p = 1,005 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ et $c_v = 0,718 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Le fonctionnement réel du moteur est évidemment compliqué, et nous utilisons ici une description idéale du cycle :

- ▷ Lors de l'étape $1 \rightarrow 2$ le gaz est comprimé par la remontée du piston. Cette étape est modélisée comme une compression adiabatique et réversible.
- ▷ Lors de l'étape $2 \rightarrow 3$, le gaz s'échauffe grâce à la combustion du carburant. Le gaz se détend alors à pression constante. Il reçoit un transfert thermique que l'on notera Q_c . Si m est la masse de gaz, on définit $q_c = Q_c/m$ le transfert thermique massique.
- ▷ Lors de l'étape $3 \rightarrow 4$, le gaz se détend (le piston redescend). Ceci est modélisé comme une détente adiabatique et réversible.
- ▷ Lors de l'étape $4 \rightarrow 1$ le gaz se refroidit en évacuant sa chaleur vers l'extérieur. Il reçoit un transfert thermique que l'on notera Q_f et qui est négatif. Si m est la masse de gaz, on définit $q_f = Q_f/m$ le transfert thermique massique. Cette étape de refroidissement du gaz est modélisée comme étant isochore (piston au point mort bas).

1. Tracer l'allure du cycle dans le diagramme $p - V$.

↪ Quelle est l'allure d'une adiabatique réversible dans le diagramme de Watt ? D'une isobare ? D'une isochore ?

2. Le rapport de compression est défini comme $\rho = V_{\max}/V_{\min}$. Quels sont les deux volumes qui interviennent ici (parmi V_1 , V_2 , V_3 ou V_4) ? On prendra un rapport $\rho = 18$ dans la suite, typique des moteurs Diesel.

↪ L'allure du cycle permet de conclure, en remarquant de plus que l'étape $4 \rightarrow 1$ est isochore.

3. On part d'un état $T_1 = 15 \text{ °C}$ et $p_1 = 1,0 \text{ bar}$. Déterminer la pression p_2 et la température T_2 atteints dans l'état 2.

↪ Étape 1 → 2 adiabatique réversible + gaz parfait : loi de Laplace : $T_2 = T_1 \rho^{\gamma-1}$ et $P_2 = P_1 \rho^\gamma$.

4. On considère ensuite l'étape 2 → 3. Le transfert thermique massique transmis au gaz lors de la combustion est $q_c = 1800 \text{ kJ/kg}$. En déduire l'expression puis la valeur de T_3 , puis de V_3/V_2 .

↪ Premier principe enthalpique appliqué à l'étape 2 → 3 : on trouve $T_3 = T_2 + q_c/c_p$.

↪ Transformation isobare : $V_3/V_2 = T_3/T_2$.

5. En considérant l'étape 3 → 4, donner l'expression et la valeur de T_4 .

↪ Transformation adiabatique réversible : $T_4 = T_3 \left(\frac{T_3}{\rho T_2} \right)^{\gamma-1}$.

6. Déterminer le transfert thermique massique q_f reçu par le gaz lors de l'étape 4 → 1.

↪ Premier principe appliqué à l'étape 4 → 1 : $q_f = c_v(T_4 - T_1)$.

7. On souhaite évaluer le rendement du moteur. Quelle est la grandeur coûteuse pour ce moteur ? Quelle est la grandeur utile ? En déduire une expression du rendement du moteur (attention, il n'est pas réversible). Réaliser l'application numérique.

↪ Rendement du moteur : $\eta = -\frac{w}{q_c}$.

↪ Premier principe appliqué sur le cycle : $w = -q_c - q_f$.

Adapté de CCINP filière PSI, 2018