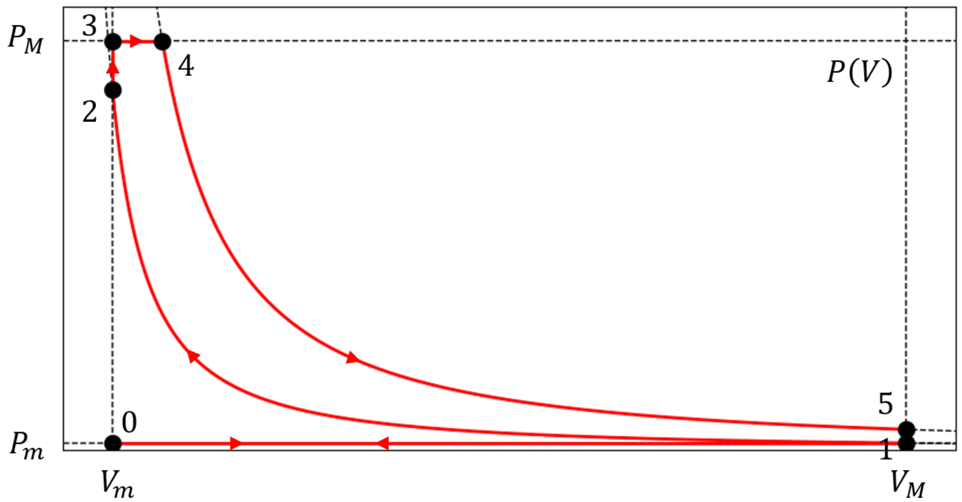
Moteur Diesel à double combustion

Dans les moteurs Diesel à double combustion, le cycle décrit par le mélange air-carburant est modélisable par celui d'un système fermé. Après la phase d'admission $0 \to 1$ qui amène le mélange au point 1 du cycle, celui-ci subit une compression adiabatique supposée réversible jusqu'au point 2. Après injection du carburant en 2, la combustion s'effectue d'abord de façon isochore de $2 \to 3$ puis se poursuit de façon isobare de $3 \to 4$. La phase de combustion est suivie d'une détente adiabatique à nouveau prise réversible de $4 \to 5$, puis d'une phase d'échappement isochore $5 \to 1$ puis isobare $1 \to 0$.



Au point 1 du cycle, la pression $P_m = 1$ bar et la température $T_m = 293$ K sont minimales. La pression maximale, aux points 3 et 4, est $P_M = 60$ bar et la température maximale, au point 4, vaut $T_M = 2073$ K. Le rapport volumétrique de compression vaut :

$$\beta = \frac{V_M}{V_m} = 17$$

On suppose que le mélange air-carburant se comporte exactement comme l'air, c'est-à-dire comme un gaz parfait diatomique de masse molaire $M = 29$ g·mol^{-1}, et de coefficient $\gamma = 1,4$.

1) Exprimer les températures T_2, T_3 et T_5 en fonction de P_m, P_M, T_m, T_M et β. Calculer les valeurs numériques.

2) Calculer le transfert thermique massique q_c reçu par l'air au cours de la phase de combustion $2 \to 4$.

3) Calculer le transfert thermique massique q_f échangé avec le milieu extérieur entre les points 5 et 1.

4) En déduire le travail massique w échangé au cours d'un cycle.

5) Définir et calculer le rendement de ce moteur. Commenter la valeur trouvée.

Correction

Correction

1) Pour tout l'exercice, on pourra utiliser la valeur de nR suivante :

$$P_m V_M = nRT_m \quad \Rightarrow \quad \boxed{nR = \frac{P_m V_M}{T_m}}$$

Loi de Laplace entre 1 et 2 :

$$TV^{\gamma-1} = cte \quad \Rightarrow \quad T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \quad \Rightarrow \quad \boxed{T_2 = T_m\, \beta^{\gamma-1} = 910 \text{ K}}$$

Équation d'équation des gaz parfaits en 3 :

$$\boxed{T_3 = \frac{P_M V_m}{nR} = T_m\, \frac{P_M}{P_m \beta} = 1034 \text{ K}}$$

Loi de Laplace entre 4 et 5 :

$$TV^{\gamma-1} = cte \quad \Rightarrow \quad T_M V_4^{\gamma-1} = T_5 V_M^{\gamma-1} \quad \Rightarrow \quad T_5 = T_M \left(\frac{V_4}{V_M}\right)^{\gamma-1}$$

Équation d'équation des gaz parfaits en 4 :

$$V_4 = \frac{nRT_M}{P_M} = V_M\, \frac{P_m T_M}{P_M T_m}$$

On en déduit :

$$\boxed{T_5 = T_M \left(\frac{P_m T_M}{P_M T_m}\right)^{\gamma-1} = 882 \text{ K}}$$

2) Pour l'étape $2 \to 3$ isochore, le premier principe $+$ la loi de Joule donnent (en massique) :

$$\Delta u_{23} = q_{23} = \frac{R}{M(\gamma-1)}(T_3 - T_2) = 88,9 \text{ J·g}^{-1}$$

Pour l'étape $3 \to 4$ isobare, le premier principe (version enthalpique) $+$ la loi de Joule donnent (en massique) :

$$\Delta h_{34} = q_{34} = \frac{\gamma R}{M(\gamma-1)}(T_4 - T_3) = 1042 \text{ J·g}^{-1}$$

On en déduit :

$$\boxed{q_c = q_{23} + q_{34} = 1131 \text{ J·g}^{-1}}$$

3) Pour l'étape $5 \to 1$ isochore, le premier principe $+$ la loi de Joule donnent (en massique) :

$$\Delta u_{51} = q_{51} = \boxed{q_f = \frac{R}{M(\gamma-1)}(T_1 - T_5) = -422 \text{ J·g}^{-1}}$$

4) Si on applique le premier principe sur un cycle :

$$\Delta u = 0 = q_f + q_c + w \quad \Rightarrow \quad \boxed{w = -q_f - q_c = -710 \text{ J·g}^{-1}}$$

5) Le rendement moteur vaut :

$$\boxed{\eta = -\frac{w}{q_c} = 62,7\ \%}$$

C'est un très bon rendement pour un moteur, assez proche de celui de Carnot :

$$\eta_c = \frac{T_M - T_m}{T_M} = 85,9\ \%$$