

Devoir surveillé : Thermodynamique
Correction

1 Moteur à deux temps

Le rendement du moteur s'exprime simplement par la relation : $\eta = 1 - \frac{1}{a^{\gamma-1}}$. Le mélange gazeux, composé en majorité d'air, est considéré comme un gaz parfait de masse molaire 29 g.mol⁻¹, pour lequel $\gamma = 1,4$. Les coordonnées thermodynamiques du point 2 du cycle sont : $T_2 = 300$ K ; $P_2 = 105$ Pa. La constante des gaz parfaits est $R = 8,31$ J/mol/K.

=

1.1 Généralité

Soit un fluide, définissant le système étudié, effectuant un cycle de transformations entre deux thermostats de températures respectives avec $T_C > T_F$, qui seront appelées respectivement sources chaude et froide dans la suite. Au cours d'un cycle, le fluide reçoit de manière algébrique des quantités de chaleur QC et QF respectivement des sources chaude et froide. Enfin, au cours d'un cycle, le travail algébrique reçu par le système est noté W . On note Δt la durée d'un cycle.

1. voir cours (3 points)
2. voir cours (1 point)
3. La puissance moyenne sur un cycle est $P = -\frac{W}{\Delta t} = \eta_c \frac{Q_c}{\Delta t}$ où Δt est la durée d'un cycle. (1 point)
4. réversibilité implique l'égalité de la température du système et de celle de la source lors des transferts thermiques donc Isothermes et adiabatiques sont les transformations possibles. (1 point)
5. source froide est le milieu extérieur, source chaude est un fluide à température élevée. (1 point)

1.2 Étude du moteur

1. 1 temps de compression du mélange et 1 temps de détente soit 2 temps par cycle 1 cycle correspond à 1 tour de vilebrequin (1 point)
2. $\Delta t = \frac{60}{6500} = 9,2$ ms (1 point)
3. $v = 2 \times course \Delta t = 8,5$ m/s (1 point)
4. vitesse faible devant la vitesse moyenne des molécules donc les évolutions sont des successions d'état de quasi-équilibre. Compression et détente sont quasi-statiques.
On peut considérer que la pression intérieure est égale à tout instant à la pression extérieure (2 points)
5. (2 points)

	point 2	point 3
P	$P_2 = 10^5$ Pa	$P_2 \left(\frac{V_{max}}{V_{min}} \right)^\gamma$
V	V_{min}	V_{max}

6. $P_3 = P_2 \left(\frac{V_{max}}{V_{min}} \right)^\gamma = P_2 a^\gamma$ soit

$$a = \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = 3,6$$

(1 points)

7. Le transfert thermique Q_c se fait sur 3-4. Il ne peut pas se faire sur les adiabatiques, de plus, de 5-2 la température diminue. (1 point)

8. Sur l'étape 3-4 le volume est constant, il n'y a donc pas de travail et $\Delta U = Q_c = C_v(T_4 - T_3)$
On utilise ensuite la loi de Laplace pour exprimer T_3 en fonction de T_2 :

$$T_2 V_2^{\gamma-1} = T_3 V_3^{\gamma-1} \quad \Rightarrow \quad T_3 = T_2 a^{\gamma-1}$$

$$\text{Soit } Q_c = C_v(T_4 - T_2 a^{\gamma-1})$$

(3 points)

9. Deux possibilités : passer par le calcul direct des forces de pression, ou :

$$\begin{aligned} -W &= Q_c + Q_F \\ &= C_v(T_4 - T_2 a^{\gamma-1}) + C_v(T_2 - T_5) \quad \text{or} \quad T_5 = T_4 \left(\frac{V_{min}}{V_{max}} \right)^{\gamma-1} = T_4 a^{1-\gamma} \\ &= C_v(T_4 - T_2 a^{\gamma-1}) + C_v(T_2 - T_4 a^{1-\gamma}) \end{aligned}$$

(3 points)

- 10.

$$\eta = \frac{-W}{Q_c} = 1 + \frac{Q_F}{Q_c} = 1 + \frac{(T_2 - T_4 a^{1-\gamma})}{(T_4 - T_2 a^{\gamma-1})} = 1 - a^{1-\gamma}$$

(2 point)

11. $Q_c = \frac{-W}{\eta} = \frac{P_{max} \Delta t}{\eta} = 55,4 \text{ J}$

12. 100 km correspondent à 2h de fonctionnement à vitesse max, le volume d'essence consommé est donc

$$V = \frac{Q_c}{q} \times 6500 \times 120 \approx 2 \times \frac{6,5 \cdot 10^3 \times 100}{10^6} = 1,3$$

avec $q = 30 \cdot 10^6 \text{ J/L}$ ce qui est inférieur à la réalité (2 points)

13. pour une même durée du tour de vilebrequin, on gagne un facteur 2 avec moteur 2 temps (nombre de combustions doublé à régime égal). Mais rendement moins bon d'où le gain de 1,5 en puissance indiqué. (1 point)

2 Transformation de l'eau

1. Phase gazeuse qui n'est pas en équilibre avec le liquide. voir cours. (2 points)

2. $T_A = 27^\circ = 300\text{K}$

- (a) Le volume massique de la vapeur saturante est $v_v(T_a) = \frac{RT_A}{MP^*} = \frac{8 \times 3}{3 \times 6 \times 37} = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ g}^{-1}$
(2 points)

- (b) $v_a = \frac{V_A}{m} = 0,1 \text{ m}^3/\text{g}$ donc $v_a > v_v$ le système est donc constitué de vapeur sèche uniquement.
(1 point)

- (c) La vapeur est considérée comme un GP donc :

$$P_A = \frac{m}{M} \frac{RT_A}{V_A} = \frac{1}{18} \frac{8 \times 300}{0,1} = \frac{8}{6} \times 1000 = 1333 \text{ Pa}$$

$$n = 0,056 \text{ mol} \quad (2 \text{ points})$$

3. (a) $v_B = 0,01 \text{ m}^3/\text{g}$, il est inférieur à v_v le système est donc diphasé.

- (b) Le mélange liquide vapeur est caractérisé par :

$$m_v + m_\ell = m = 1 \text{ g}$$

$$m_v v_v + m_\ell v_\ell \approx m_v v_v = V_B$$

$$\text{Ainsi } m_v = \frac{V_B}{v_v} = \frac{0,01}{0,036} = 0,27 \text{ g} \text{ soit } m_\ell = 1 - 0,27 = 0,73 \text{ g.} \quad (3 \text{ points})$$

4. Travail reçu par le système : il faut prendre un point intermédiaire noté I qui sépare la vapeur sèche de la vapeur saturante :

$$W_{AI} = - \int P dV = RT_A \ln\left(\frac{V_A}{V_I}\right) = RT_A \ln\left(\frac{V_A}{mv_v}\right) = 134J$$

Sur IB il s'agit d'une transformation isobare à la pression P^* :

$$W_{IB} = - \int P dV = -mP^*(v_B - v_v) = 102J$$

soit $W_{tot} = 239J$ (3 points)

5. La vapeur est un gaz parfait donc sur une transformation isotherme, la première loi de Joule donne : $\Delta U_{AI} = 0 = W_{AI} + Q_{AI}$ donc $Q_{AI} = -W_{AI} = -134J$
 Pour la transformation isobare IB : $\Delta H = Q_{IB} = m\ell v = -1788J$
 Soit $Q_{AB} = -1925J$. On en déduit : $\Delta U_{AB} = W_{AB} + Q_{AB} = -1686J$ (4 points)

6. La compression isotherme s'accompagne d'une variation d'entropie du système :

$$\Delta S = \int_A^B \frac{\delta Q}{T} = \frac{1}{T} \int_A^B \delta Q = \frac{Q_{AB}}{T_A} = -6,42 J.K^{-1}$$

(2 points)