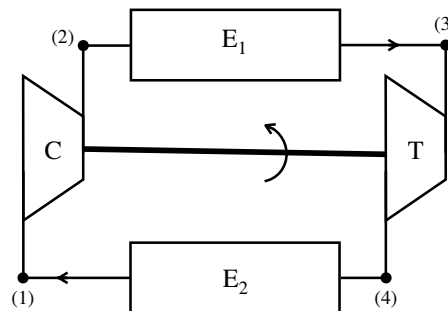


TD25 – Machines thermiques

EXERCICE 1 : Turbine à gaz (★★)

On considère une turbine à gaz schématisée sur le dessin ci-dessous. Le gaz qui décrit le cycle est l'air considéré comme un gaz parfait. On ne tient pas compte de l'écoulement du gaz.



Partant de l'état 1 ($P_1 = 1 \text{ bar}$, $T_1 = 300 \text{ K}$), le gaz passe dans un turbocompresseur dans lequel il subit une compression adiabatique réversible (État 2 : $P_2 = 6,5 \text{ bar}$, T_2). Ensuite il passe dans une chambre de combustion (E_1), où il est mélangé avec une petite quantité de carburant dont on néglige la masse. Le gaz subit une transformation isobare réversible et passe à l'état 3 (P_3 , $T_3 = 1300 \text{ K}$). Le gaz subit ensuite une détente adiabatique réversible dans une turbine (T) pour arriver à l'état 4 (P_4 , T_4). Enfin, il se refroidit de manière isobare réversible en retournant à l'état 1. On donne pour l'air : $\gamma = 1,4$; masse molaire $M = 29 \text{ g.mol}^{-1}$; constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$. On raisonnera sur une masse de 1 kg de gaz.

- Déterminer l'expression de T_2 et de T_4 en fonction de T_1 , P_1 , P_2 et T_3 . Effectuer les applications numériques.
- Représenter le cycle dans un diagramme de Watt (P, V) sans respecter l'échelle. S'agit-il d'un cycle moteur ou récepteur?
- Déterminer les expressions des capacités thermiques à volume constant (c_v) et à pression constante (c_p) de 1 kg de gaz.
- Déterminer les expressions des transferts thermiques reçus par le gaz entre les états 2 et 3 (Q_{23}) et entre les états 4 et 1 (Q_{41}). Applications numériques.
- Déterminer l'expression du travail total reçu par le gaz W sur le cycle. Application numérique.
- La turbine entraîne le turbocompresseur par l'intermédiaire d'un arbre. Déterminer le travail nécessaire à l'entraînement du compresseur et la part que cela représente dans le travail total fourni par la turbine.
- Déterminer l'expression du rendement $\eta = \frac{|W|}{Q_{23}}$ en fonction des températures. Application numérique.

EXERCICE 2 : Étude d'un complexe piscine-patinoire (★★★)

On donne $\ell_f = 335 \text{ kJ.kg}^{-1}$; $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$; $c_{\text{glace}} = 2,10 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$.

On étudie un complexe piscine-patinoire dont le chauffage et le refroidissement sont assurés en partie par une pompe à chaleur, au fonctionnement réversible, utilisant la piscine comme source chaude et la patinoire comme source froide. Lorsqu'elles sont en fonctionnement, la piscine est

à $T_1 = 300\text{ K}$ et la patinoire à $T_2 = 263\text{ K}$. Elles ont des masses respectives d'eau $m_1 = 2.10^6\text{ kg}$ et $m_2 = 2,5.10^5\text{ kg}$. On part d'un état initial où les deux masses d'eau sont à $T_i = 280\text{ K}$. La température de l'équilibre eau-glace est $T_0 = 273\text{ K}$.

1. Calculer numériquement les capacités thermiques C_1 de l'eau de la piscine, C_2 de l'eau de la patinoire lorsqu'elle est liquide et C'_2 de l'eau de la patinoire lorsqu'elle est gelée.
2. Lorsque les deux masses d'eau sont liquides, établir une expression liant leur température à la température initiale. Calculer la température T_3 de la piscine lorsque l'eau encore liquide de la patinoire atteint T_0 . Calculer le travail W_3 consommé par la pompe à chaleur.
3. On s'intéresse ici uniquement à la phase au cours de laquelle l'eau de la patinoire gèle. Établir l'expression de la température T_4 de la piscine lorsque toute la patinoire est gelée et qu'elle est encore à T_0 . Calculer le travail W_4 consommé par la pompe à chaleur.
4. Établir l'expression de la température T_5 de la piscine lorsque la patinoire atteint T_2 . Calculer le travail W_5 consommé par la pompe à chaleur.
5. L'élévation de température de T_5 à T_1 s'effectue par un chauffage direct, calculer le transfert thermique Q_6 nécessaire.
6. La pompe à chaleur et le chauffage direct consomment la même puissance $P = 200\text{ kW}$. Quelle est la durée de mise en température du complexe?

EXERCICE 3 : Utilisation conjointe d'une pompe à chaleur et d'un moteur (★★)

On dispose d'une pompe à chaleur d'efficacité αe_C ($\alpha \in [0, 1]$), dont on souhaite se servir pour alimenter un local de température $T_i = 20^\circ\text{C}$ en se servant comme source froide de l'extérieur à la température $T_e = 5^\circ\text{C}$. Pour alimenter cette pompe à chaleur, on utilise un moteur de rendement $\eta = \alpha \eta_C$ (on suppose le même α pour simplifier) que l'on alimente entre la source froide extérieure et une chaudière au fioul, entretenue à la température $T_c = 400\text{ K}$.

1. Faire un schéma conventionnel des échanges.
2. Définir et calculer l'efficacité globale e_{globale} en fonction des températures et de α .
3. Quelle valeur minimale de α faut-il atteindre pour que le dispositif soit plus avantageux que simplement chauffer l'intérieur avec la chaudière?

EXERCICE 4 : Rendement du cycle de Beau de Rochas (★★)

On considère un gaz parfait diatomique subissant un cycle de Beau de Rochas BCDEB. Ce cycle modélise très bien ce qui se passe dans un moteur à essence et permet d'en exprimer le rendement.

BC : compression adiabatique, supposée réversible.

CD : Le gaz reçoit un transfert thermique $Q_{CD} > 0$ de manière isochore. (On modélise ainsi l'effet de la réaction chimique exothermique lors de l'explosion du mélange air+essence).

DE : Détente adiabatique réversible.

EB : Refroidissement isochore.

1. Représenter le cycle dans le diagramme de Watt.
2. Exprimer les transferts thermiques Q_{CD} et Q_{EB} en fonction des températures aux points C, D, E et B.
3. En notant W_f le travail algébriquement fourni par le gaz lors du cycle, exprimer le rendement du cycle $\eta = \frac{W_f}{Q_{CD}}$ en fonction des températures aux points B, C, D et E.
4. En utilisant la loi de Laplace, montrer que $\eta = 1 - \alpha^{1-\gamma}$ où $\alpha = \frac{V_B}{V_C}$ est le taux de compression.

EXERCICE 5 : Rendement du cycle de Diesel (★★)

On considère un gaz parfait diatomique subissant un cycle de Diesel BCDEB. Ce cycle modélise très bien ce qui se passe dans un moteur Diesel et permet d'en exprimer le rendement.

BC : Compression isentropique de l'air seul

CD : Le gaz reçoit un transfert thermique $Q_{CD} > 0$ de manière isobare. (On modélise ainsi l'injection progressive du carburant qui s'enflamme spontanément au contact de l'air chaud (pas de bougie)).

DE : Détente isentropique des gaz brûlés

EB : Refroidissement isochore

1. Représenter le cycle dans le diagramme de Clapeyron.
2. Exprimer les transferts thermique Q_{CD} et Q_{EB} en fonction des températures aux points C, D, E et B.
3. En notant W_f le travail algébriquement fourni par le gaz lors du cycle, exprimer le rendement du cycle $\eta = \frac{W_f}{Q_{CD}}$ en fonction des températures aux points B, C, D et E.
4. En utilisant la loi de Laplace, montrer que :

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\alpha \beta^{1-\gamma} - \beta \alpha^{1-\gamma}}{\alpha - \beta}$$

où $\alpha = \frac{V_B}{V_C}$ est le taux de compression et $\beta = \frac{V_B}{V_D}$ le taux de détente.