

Machines thermiques

EX 1 – Moteur Diesel

Inventé par Rudolf Diesel en 1893, ce moteur est un moteur à quatre temps : (1) Admission - (2) Compression - (3) Combustion-détente - (4) Échappement. À la différence du moteur à explosion, il ne nécessite pas de bougie et utilise un carburant moins raffiné, donc moins coûteux. Nous allons étudier dans cet exercice, le cycle modèle du moteur Diesel.

On supposera les gaz parfaits, de capacités thermiques constantes. On posera γ le rapport des capacités thermiques. Le cycle Diesel se modélise de la manière suivante :

A₀ → A : admission semblable au moteur à explosion, mais seul de l'air est aspiré.

A → B : l'air est comprimé adiabatiquement et se réchauffe jusqu'à une température d'environ 700 K.

B → C : injection de carburant sous pression qui s'enflamme spontanément au contact de l'air chaud comprimé. L'injection se fait de manière à ce que cette phase soit isobare.

C → D : lorsque la combustion s'arrête, les gaz se détendent de manière adiabatique en repoussant le piston.

D → A : la soupape s'ouvre provoquant une diminution de pression isochore.

A → A₀ : le piston refoule les gaz brûlés.

1. Représenter en diagramme (p, V) l'allure du cycle Diesel.
2. Donner une expression de la variation élémentaire d'entropie dS en fonction de celle de température dT pour une transformation isobare ainsi que pour une transformation isochore en supposant le gaz parfait.
3. En déduire l'allure du même cycle sur un diagramme (T, S) . Donner l'interprétation physique de l'aire comprise à l'intérieur de cette courbe fermée.
4. On note les rapports volumiques $a = \frac{V_A}{V_B}$ (taux de compression) et $b = \frac{V_D}{V_C}$. Donner l'expression du rendement en fonction de a , b , et γ .
5. Calculer le rendement du moteur Diesel (on prendra $\gamma = 1.4$, $a = 23$ et $b = 13.4$).

EX 2 – Réfrigérateur tritherme

On étudie un réfrigérateur tritherme dit "à absorption". Il est en contact thermique avec trois sources thermiques de températures respectives T_1 , T_2 , et T_3 , avec $T_1 > T_2 > T_3$. Ce dispositif ne nécessite aucun travail, contrairement au réfrigérateur ditherme. La source chaude à T_1 est obtenue grâce à un combustible (par exemple par combustion du butane), la source 2 est à température ambiante T_2 et le milieu à réfrigérer est la source froide à température T_3 .

1. À partir des principes de la thermodynamique, établir les sens des transferts thermiques. On appellera Q_1 , Q_2 , et Q_3 les transferts thermiques reçus par le réfrigérateur de la part des sources, de températures respectives T_1 , T_2 , et T_3 , pendant un cycle.
2. Comment peut-on définir, pour ce dispositif, l'efficacité ?
3. Quelle est, en fonction de T_1 , T_2 , et T_3 la valeur maximale de cette efficacité ?
4. Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme du produit du rendement de Carnot d'un moteur ditherme par l'efficacité maximale d'un réfrigérateur ditherme. Définir les températures des sources de ces deux machines dithermes. Que peut-on dire des travaux qu'elles reçoivent ? Faire un schéma de fonctionnement représentant les diverses machines et sources thermiques.

EX 3 – Centrale nucléaire

Une centrale nucléaire peut être modélisée comme une machine ditherme fonctionnant entre deux sources de chaleur :

- une source chaude (eau du circuit primaire, chauffée par le combustible) de température $T_C = 579$ K ;
- une source froide (eau d'un fleuve) de température $T_F = 283$ K.

La centrale fournit une puissance de $\mathcal{P} = 1,00$ GW

1. Calculer le rendement η de la centrale sachant qu'il est égal à 60% du rendement maximal de Carnot.
2. Exprimer le transfert thermique par unité de temps \dot{Q}_C de la source chaude vers l'agent thermique en fonction de η et \mathcal{P} . En déduire le transfert thermique par unité de temps \dot{Q}_F de l'eau du fleuve vers l'agent thermique. Le calculer.
3. L'eau du fleuve servant de source froide a un débit volumique $D_v = 300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Calculer la variation de température ΔT de l'eau du fleuve entre l'amont et l'aval.

Données : masse volumique de l'eau $\rho = 1,00 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; capacité thermique massique de l'eau $c = 4.18 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

EX 4 – Moteur avec 2 pseudo-sources

Un moteur fonctionne de façon réversible entre deux pseudo-sources (température variable) de même capacité thermique $C = 100 \text{ kJ.K}^{-1}$:

- Une pseudo-source chaude de température $T_C(t)$
- Une pseudo-source froide de température $T_F(t)$

Les températures initiales des pseudo-sources chaude et froide sont respectivement $T_{C0} = 400 \text{ K}$ et $T_{F0} = 300 \text{ K}$.

1. En utilisant le second principe de la thermodynamique, établir une relation entre $T_C(t)$, $T_F(t)$, T_{C0} et T_{F0} .
2. En déduire la température finale T_f des deux sources quand le moteur s'arrête de fonctionner.
3. Calculer le travail fourni par le moteur sur toute sa durée de fonctionnement.
4. Calculer le rendement η du moteur. Le comparer au rendement η_C qu'on aurait obtenu en maintenant les températures des sources à leur valeur initiale.