

Machines thermiques

1 Prise de risque

Un inventeur affirme avoir mis au point un moteur fournissant 30 kWh alors qu'il consomme 89 000 kcal en provenance d'un thermostat à 400 K et qu'il rejette 63 000 kcal dans des vapeurs à 300 K en 1 h.

Investissez-vous de l'argent pour commercialiser ce moteur ?

Donnée : 1 cal = 4.184 J.

2 Centrales électriques

1. Une centrale typique produit 1000 MW de puissance électrique. L'efficacité vaut 40 %. Quelle est la puissance calorifique dissipée dans l'eau de refroidissement ?
2. Une centrale nucléaire fournissant une puissance $P = 1000$ MW est installée au bord d'un fleuve dont la température est $T_2 = 300$ K et le débit $Q = 400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. La température de la source chaude est $T_1 = 700$ K. En admettant que le rendement réel soit seulement la fraction $x = 60\%$ du rendement de Carnot réversible, calculer l'élévation de température du fleuve qui résulte du fonctionnement de la centrale, en fonction de T_1 , T_2 et des paramètres du problème.

Donnée : la chaleur spécifique de l'eau vaut $c_P = 4.18 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

3 Pompe à chaleur

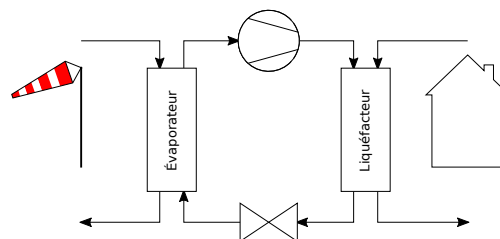


Figure 1: Pompe à chaleur

Une pompe à chaleur est utilisée pour assurer le chauffage (en hiver) ou le refroidissement (en été) d'une maison. Le fluide accomplissant les cycles dans la pompe est le fréon. Il parcourt un circuit dans lequel,

étant sous forme de vapeur, il est comprimé par un compresseur et se condense dans un liquéfacteur. Puis il subit une détente au niveau d'une valve et finit de se vaporiser dans un évaporateur avant de revenir au compresseur (voir figure -Fig. 1).

1. En hiver, lequel du liquéfacteur ou de l'évaporateur faut-il mettre en contact avec la maison ? Indiquer les chaleurs échangées entre la maison et l'extérieur sur un schéma identique à celui de la figure -Fig. 1.
2. La température extérieure moyenne est de 0°C , la température de la maison 20°C et la puissance du compresseur électrique est de 4000 W .
 - a. En déduire l'efficacité maximale de la pompe à chaleur.
 - b. Quelle quantité de chaleur serait obtenue si la puissance électrique était dépensée dans un radiateur électrique ? Commenter.
3. Le débit de chaleur vers l'extérieur par fuite thermique, \dot{Q}_f , est supposé proportionnel à l'écart de température entre l'intérieur T_i et l'extérieur T_e :

$$\dot{Q}_f = -k(T_i - T_e)$$

où $k > 0$. Sachant que l'efficacité réelle de la pompe est trois fois plus faible que l'efficacité maximale, calculer le coefficient de proportionnalité k .

4 Cycle de Beau de Rochas (1862)

Les moteurs à combustion interne à allumage commandé, tels que les moteurs à essence utilisés dans les voitures, fonctionnent selon un cycle thermodynamique qui est représenté de manière approchée par le cycle de Beau de Rochas. Un tel moteur fonctionne sur 4 temps du mouvement d'un piston dans un cylindre tels que :

1. Admission – Initialement, le piston est au point mort en haut du cylindre. Puis, le piston descend et un mélange d'air et de carburant est aspiré dans le cylindre via la soupape d'admission.
2. Compression – La soupape se ferme et le piston remonte en comprimant le mélange.
3. Combustion et détente – Lorsque le piston est remonté au point mort, le mélange air-carburant est enflammé par une bougie d'allumage. La pression des gaz portés à haute température produit une explosion lors de la combustion. Le piston redescend. C'est le temps moteur au cours duquel le mouvement du piston produit du travail mécanique directement utilisable.
4. Échappement – La soupape d'échappement s'ouvre pour évacuer les gaz brûlés qui sont poussés par le piston qui remonte au point mort.

Dans la pratique, les moteurs à explosion fonctionnent généralement avec quatre cylindres, ce qui permet de réaliser une rotation quasi uniforme du moteur.

Le cycle de Beau de Rochas est modélisé par 4 transformations réversibles au cours desquelles une masse donnée, notée m , d'air et de carburant subit deux transformations adiabatiques et deux isochores (voir le diagramme de Clapeyron de la figure -Fig. 2).

1. Admission – isobare (OA),
2. Compression – adiabatique (AB),
3. Combustion – isochore (BC),
4. Détente – adiabatique (CD),
5. Ouverture de la soupape – isochore (DA),
6. Échappement – isobare (AO).

Pour simplifier, ce cycle modèle ne prend pas en compte l'admission de carburant. L'air et le carburant qui se transforment sont identiques au cours des cycles successifs.

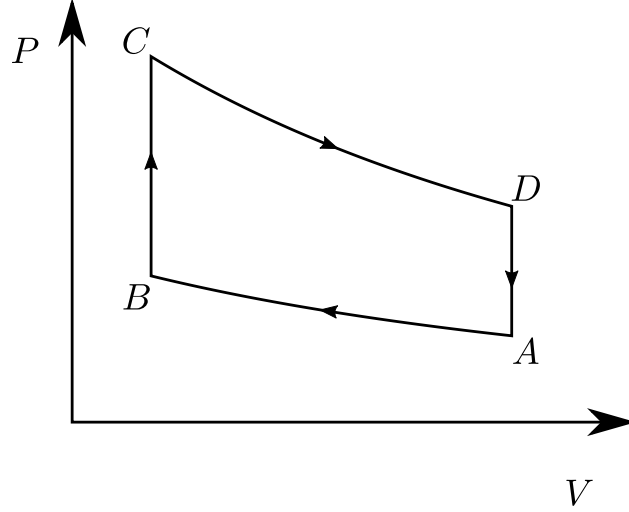


Figure 2: Cycle de Beau de Rochas

On note le rapport volumétrique : $a = V_A/V_B$ avec $a > 1$ et le pouvoir calorifique du mélange combustible $b = Q_{BC}/m$ où Q_{BC} est la chaleur produite par la combustion d'une masse m de mélange. Dans la suite, on assimile le mélange à un gaz parfait diatomique, la pression d'admission vaut $P_A = 1 \text{ atm}$ et $T_A = 17^\circ\text{C}$, et on prend $a = 9$, $b = 660 \text{ cal g}^{-1}$, la chaleur spécifique massique de l'air à volume constant $c_V = 0.17 \text{ cal g}^{-1} \text{ K}^{-1}$. On note enfin $\gamma = c_P/c_V$.

1. Déterminer les pressions et températures en B , C et D .
2. Calculer l'efficacité d'une machine de Carnot fonctionnant entre la température de la source chaude T_C et celle du milieu extérieur à T_A .
3. Déterminer l'efficacité du cycle Beau de Rochas en fonction de a et γ .

5 Moteur Diesel

Une mole de gaz parfait diatomique subit les transformations réversibles suivantes :

1. Compression adiabatique (AB),
2. Dilatation à pression constante (BC),
3. Détente adiabatique (CD),
4. Refroidissement à volume constant (DA).

Chaque état est défini par la pression P_i , la température T_i et le volume V_i , où i est à valeur dans $\{A, B, C, D\}$. γ dénote le coefficient adiabatique. On définit le taux de compression $a = V_A/V_B$ et le rapport de détente $b = V_A/V_C$.

1. Représenter le cycle Diesel dans un diagramme de Clapeyron. Donner les expressions de la pression, du volume et de la température pour les états B , C et D en fonction de P_A , V_A , T_A , a et b . Application numérique.
2. Calculer les travaux et chaleurs échangés pour toutes les transformations subies. Préciser notamment le sens des échanges entre le moteur et le milieu extérieur.
3. Exprimer l'efficacité η du cycle en fonction de γ , a et b . Application numérique.

Données : $a = 9$, $b = 3$, $P_A = 100\,000 \text{ Pa}$ et $T_A = 300 \text{ K}$.

