

THERMODYNAMIQUE - TRAVAUX DIRIGES N° 3

Machines thermiques

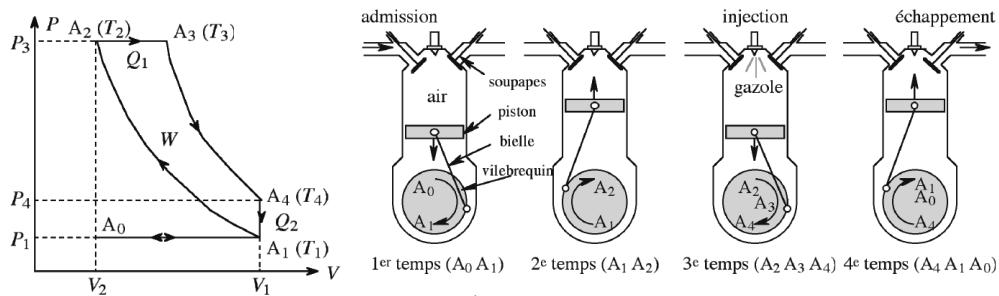
Exercice n° 1 : Etude d'un chauffe-eau

On veut maintenir la température du chauffe-eau d'un bungalow à $T_2 = 333 \text{ K}$ en utilisant le site où il se trouve : air extérieur chaud à $T_1 = 310 \text{ K}$ et eau froide d'un lac à $T_3 = 285 \text{ K}$. On utilise à cet effet un moteur ditherme réversible fonctionnant selon un cycle de Carnot entre l'air extérieur et le lac, fournissant l'énergie nécessaire à une pompe à chaleur réversible fonctionnant selon un cycle de Carnot inversé, entre le chauffe-eau du bungalow et le lac.

- 1) Faire un schéma faisant apparaître les différents échanges énergétiques mis en jeu.
- 2) En appelant Q_1 le transfert thermique reçu par le moteur de l'air extérieur et Q_2 le transfert thermique réellement reçu par le chauffe-eau du bungalow, déterminer l'efficacité thermique d'un tel dispositif : $e = Q_2/Q_1$.

Exercice n° 2 : Moteur Diesel

Le moteur d'un véhicule automobile au gazole fonctionne par inflammation spontanée du gazole finement pulvérisé injecté dans de l'air fortement comprimé et chaud. Son fonctionnement est représenté par le cycle théorique idéal de Diesel



qui suit les quatre temps suivants :

- 1^{er} temps (A₀A₁) : ouverture de la soupape d'admission et aspiration d'air dans le cylindre à pression constante (pression atmosphérique) par la descente du piston entraîné par le vilebrequin.
- 2^{ème} temps (A₁A₂) : compression adiabatique de l'air par remontée du piston.
- 3^{ème} temps (A₂A₃A₄) : injection progressive du gazole pulvérisé en fines gouttelettes provoquant l'inflammation spontanée du mélange air / gazole. Cette combustion se produit à pression relativement constante (A₂A₃). Les gaz

se détendent de façon adiabatique ensuite en poussant le piston vers le bas et entraîne le vilebrequin.

- 4^{ème} temps (A₄A₁A₀) : ouverture de la soupape d'échappement ramenant les gaz brûlés instantanément à la pression initiale (isochore A₄A₁). Les gaz sont alors refoulés par la remontée du piston (isobare A₁A₀).

Toutes les transformations sont supposées réversibles.

L'air est assimilé à un gaz parfait de masse molaire $M = 29 \text{ g.mol}^{-1}$, de capacité thermique massique à pression constante $c_p = 1 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ avec $\gamma = 1,4$ et $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$. La quantité de carburant injectée est faible devant la quantité d'air et on suppose que la combustion du carburant ne modifie pas cette quantité d'air, autrement dit le gaz circulant dans ce moteur sera considéré comme une même quantité d'air seul tout au long du cycle.

1) Étude générale du cycle

En début de compression (A₁), l'air admis dans le moteur est à la pression $P_1 = 1 \text{ bar}$ et à la température $T_1 = 293 \text{ K}$. Le taux de compression est $\alpha = V_1/V_2 = 15$ et le taux de détente est $\beta = V_1/V_3 = 5$.

- a) Calculer la pression P_2 et la température T_2 en fin de compression.
- b) Calculer les températures T_3 et T_4 en début et en fin de détente et la pression P_4 .
- c) Calculer le rendement de ce moteur.

2) Étude de la combustion

- a) La cylindrée du moteur (volume total maximum des cylindres) est $V_1 = 2 \text{ litres}$. Déterminer la masse d'air admise dans chaque cycle et en déduire la quantité de chaleur Q_1 échangée pendant cette phase de combustion.
- b) La quantité de chaleur dégagée par la combustion est $q = 46,8.10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$. En déduire la masse de carburant injectée à chaque cycle.
- c) A une vitesse de 130 km.h^{-1} , le vilebrequin tourne à 3000 tr.min^{-1} . Déterminer la durée d'un cycle et la distance parcourue par le véhicule pendant ce cycle.
- d) La masse volumique du gazole est $\rho = 0,8 \text{ kg.L}^{-1}$. Quelle est la consommation (en L aux 100 km) de ce véhicule à 130 km.h^{-1} .
- e) Déterminer le travail W fourni par ce moteur lors d'un cycle et en déduire la puissance du véhicule. (1 ch = 736 W)

Exercice n° 3 : Etude d'une machine frigorifique

On considère un cycle de transformations réversibles DABCD réalisé à partir du point D sur la courbe de rosée pour une masse unité de fréon :

- DA : liquéfaction totale isotherme à la température $T_2 = 60^\circ\text{C}$
- AB : détente isentropique qui amène le fluide dans l'état B défini par la température $T_1 = -10^\circ\text{C}$ et une fraction massique en gaz $x_g(B)$;
- BC : vaporisation isotherme jusqu'à l'intersection C avec la courbe isentropique passant par D ; l'état C est caractérisé par une fraction massique en vapeur $x_g(C)$.

On lit dans les tables pour le fréon :

	Pression de vapeur saturante (bar)	Enthalpie massique du liquide saturant $h_l(\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1})$	Enthalpie massique de la vapeur saturante $h_v(\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1})$	Entropie massique du liquide saturant $s_l(\text{kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1})$	Entropie massique de la vapeur saturante $s_v(\text{kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1})$
$T_1 = 263 \text{ K}$	2.2	28.8	184	0.11	0.70
$T_2 = 343 \text{ K}$	15	96.8	210	0.34	0.68

- 1) Représenter le cycle DABCD sur un diagramme de Clapeyron.
- 2) Calculer les enthalpies massiques de vaporisation et les entropies de vaporisation aux températures T_1 et T_2 .
- 3) Calculer les titres massiques en vapeur $x_g(B)$ et $x_g(C)$.
- 4) Calculer les transferts thermiques massiques q_{BC} et q_{DA} avec le milieu extérieur au cours des transformations isothermes BC et DA.
- 5) En déduire le travail w reçu par l'unité de masse du fluide au cours du cycle.
- 6) Le cycle précédent peut être utilisé pour faire fonctionner une machine frigorifique. Le travail consommé est utilisé pour refroidir la source froide de température T_1 . Exprimer l'efficacité e de cette machine frigorifique. Commentez le résultat obtenu.