

Moteur Diesel (D'après ENSTIM 2007)

L'ingénieur allemand Rudolf Diesel (1858-1913) inventa un moteur à combustion interne par auto-allumage en 1893. Le cycle thermodynamique associé à ce moteur est représenté figure 6 en coordonnées de Watt $P = f(V)$:

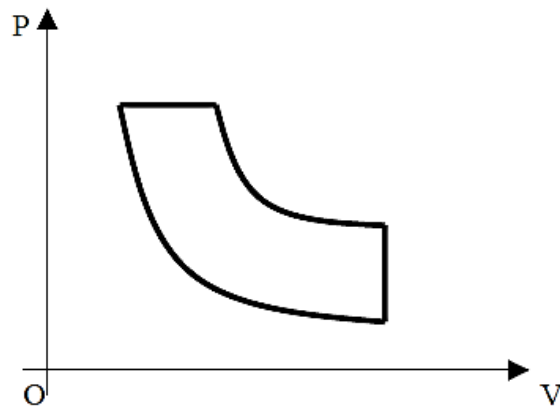


Figure 6

Les moteurs Diesel actuels fonctionnent suivant un cycle théorique modifié appelé cycle de Sabathé : il diffère du précédent par une combustion en deux étapes. Il est constitué des transformations suivantes (figure 7) :

- A-B : compression adiabatique réversible
- B-C : combustion isochore
- C-D : combustion isobare réversible
- D-E : détente adiabatique réversible
- E-A : détente isochore

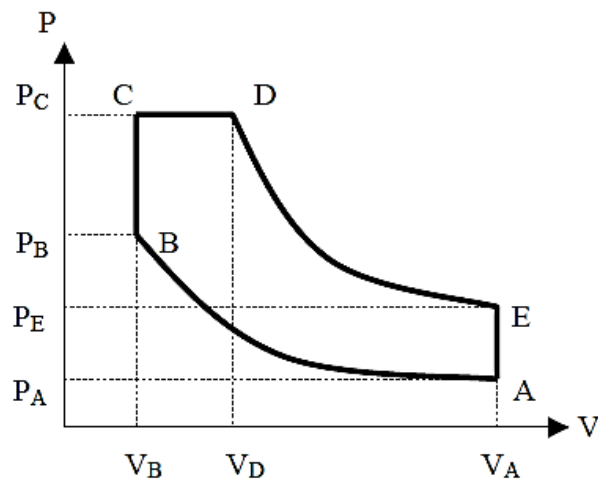


Figure 7

On considère n moles de gaz supposé parfait décrivant le cycle et on pose :

$\gamma = C_{p,m}/C_{v,m}$ avec $C_{p,m}$ et $C_{v,m}$ les capacités thermiques molaires à pression et volume constants

$\alpha = V_A/V_B$: rapport volumétrique de compression

$\beta = V_D/V_C$: rapport volumétrique de combustion

$\delta = P_C/P_B$: rapport de surpression de combustion

Chaque état i sera caractérisé par P_i , V_i et T_i respectivement pression, volume et température.

Q26. Exprimer P_B et T_B en fonction P_A , T_A , α et γ .

Q27. Déterminer les transferts thermiques échangés par n moles de gaz au cours de chaque transformation Q_{AB} , Q_{BC} , Q_{CD} , Q_{DE} , Q_{EA} en fonction des températures T_A , T_B , T_C , T_D , T_E , des capacités thermiques molaires $C_{v,m}$, $C_{p,m}$ et de n .

Q28. Après avoir défini le rendement thermodynamique (ou efficacité thermodynamique) pour un moteur que l'on notera η , l'exprimer en fonction des températures et de γ .

Q29. Montrer que η peut se mettre sous la forme :

$$\eta = 1 - \frac{\delta \cdot \beta^\gamma - 1}{[\delta - 1 + \delta \cdot \gamma \cdot (\beta - 1)] \cdot \alpha^{(\gamma-1)}}.$$

Aide :

Exprimer T_C en fonction de T_A , γ , α et δ .

Exprimer T_D en fonction de T_A , γ , α , β et δ .

Exprimer T_E en fonction de T_A , γ , β et δ .

Q30. La détente isochore E-A s'effectue au contact de l'atmosphère de température T_A .

Déterminer l'expression de l'entropie créée lors de cette transformation. Commenter le résultat.

Données :

$$\forall x > 0 \text{ et } x \neq 1 : x > \ln(x) + 1$$

Expressions de l'entropie d'un gaz parfait :

$$S(T, V) = \frac{nR}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + nR \ln\left(\frac{V}{V_0}\right) + S_0$$

$$S(T, P) = \frac{nR\gamma}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) - nR \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) + S_0$$

$$S(P, V) = \frac{nR}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) + \frac{nR\gamma}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{V}{V_0}\right) + S_0$$

Expression de l'entropie d'une phase condensée idéale :

$$S(T) = C \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + S_0$$

Refroidissements (D'après ENSTIM 2010)

Au travers des deux parties indépendantes de cet exercice, on s'intéresse à deux procédés de refroidissement.

Données pour l'ensemble de l'exercice :

- ♦ Capacités thermiques molaires respectivement à volume constant et pression constante pour un gaz parfait diatomique :

$$C_{Vm} = \frac{5R}{2} \quad \text{et} \quad C_{Pm} = \frac{7R}{2}$$

- ♦ $R = 8,3 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ constante des gaz parfaits.

- ♦ Expressions de l'entropie d'un gaz parfait :

$$S(T, V) = \frac{nR}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + nR \ln\left(\frac{V}{V_0}\right) + S_0$$

$$S(T, P) = \frac{nR\gamma}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) - nR \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) + S_0$$

$$S(P, V) = \frac{nR}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) + \frac{nR\gamma}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{V}{V_0}\right) + S_0$$

$$\text{Avec } \gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

- ♦ Expression de l'entropie d'une phase condensée idéale :

$$S(T) = C \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + S_0$$

Partie A : Détente d'un gaz dans l'atmosphère

Une mole de dioxygène, considéré comme un gaz parfait diatomique, se trouve à la pression $P = 2,0 \text{ bar}$ et à la température $T = 280 \text{ K}$. On lui fait subir une brusque détente dans l'atmosphère de pression supposée constante $P_a = 1,0 \text{ bar}$. On notera que $P = 2P_a$.

1. Quel(s) qualificatif(s), parmi les suivants, peut-on associer à la transformation subie par la mole de dioxygène ? Justifier.
 - réversible
 - irréversible
 - isotherme
 - adiabatique
 - isobare
 - isochore
2. Déterminer l'expression de la température T' atteinte par le gaz à la fin de la détente. Faire l'application numérique et commenter.
3. Déterminer l'expression de la variation d'entropie du gaz lors de cette transformation.
4. Déterminer l'expression de l'entropie créée S_c . A l'aide d'une application numérique approchée, déterminer le signe de S_c . Commenter.

Partie B : Climatisation d'un local

Un cycle de Brayton inversé réalise un effet frigorifique. Lors de ce cycle, un gaz est comprimé, refroidi puis détendu. La température de fin de détente étant basse, ce gaz peut être utilisé pour refroidir une enceinte, soit par contact direct (notamment s'il s'agit d'air), soit par l'intermédiaire d'un échangeur.

Ce type de dispositif a été jusqu'à récemment très utilisé dans les avions pour assurer la climatisation des cabines en vol. Il est également utilisé pour climatiser les très grosses installations qui nécessitent de grandes quantités de fluide caloporteur.

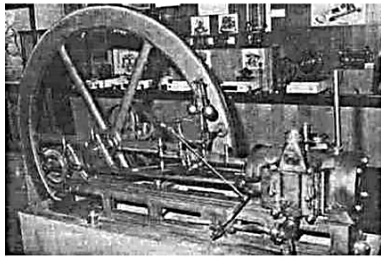
Un cycle de Brayton inversé est formé de 2 adiabatiques et de 2 isobares. Il est supposé réversible et décrit par de l'air (assimilé à un gaz parfait diatomique de coefficient γ constant). Dans cette partie, on considèrera une mole d'air parcourant le cycle suivant :

- 1→2 : compression adiabatique réversible faisant passer le gaz de la pression P_1 à la pression P_2 ;
 - 2→3 : contraction isobare ;
 - 3→4 : détente adiabatique réversible redonnant la pression P_1 au gaz ;
 - 4→1 : retour isobare à l'état 1.
1. Représenter schématiquement le climatiseur étudié en précisant le signe de chaque transfert énergétique. Vous identifierez le système et la source froide à partir des données.
 2. D'après l'énoncé, à quelle étape s'effectue l'échange d'énergie avec la source froide ?
 3. L'énoncé indique que l'étape 2→3, qui suit la compression, correspond à une étape de refroidissement du système. Sans calcul lourd, justifier cette affirmation.
 4. Tracer dans un diagramme de Clapeyron le cycle de Brayton inversé. Vous justifierez l'allure des courbes correspondant à chaque étape. En quoi ce cycle décrit-il bien un récepteur thermique ?
 5. Pour chaque transformation 1→2 ; 2→3 ; 3→4 ; 4→1 du gaz, déterminer l'expression du transfert thermique, noté respectivement Q_{12} , Q_{23} , Q_{34} et Q_{41} , en fonction de R et des températures T_k du gaz dans les états k , avec $k = 1$ à 4.
 6. On note e l'efficacité du climatiseur. Définir e puis l'exprimer en fonction des transferts thermiques : Q_{12} , Q_{23} , Q_{34} et Q_{41} .

On pose $a = \frac{P_2}{P_1}$, appelé rapport de compression du cycle.

7. Déterminer l'expression de l'efficacité e uniquement en fonction de a et du coefficient γ du gaz.

Cycle de Lenoir



Le cycle de Lenoir est un modèle idéalisé de cycle moteur à deux temps, introduit par Lenoir en 1860 pour décrire le fonctionnement du moteur à gaz qu'il avait mis au point l'année précédente. On raisonne sur l'air présent dans la chambre de combustion du moteur, modélisé par un gaz parfait. Après une phase d'admission d'air dans la chambre de combustion et le processus d'inflammation, l'air dans la chambre est caractérisé par $T_1 = 100^\circ\text{C}$, $V_1 = 10\text{ L}$ et $P_1 = 2 \cdot 10^5\text{ Pa}$. À partir de cet état 1, l'air constitue un système fermé de quantité de matière n_0 . Le cycle qu'il subit se compose des étapes suivantes :

- ▷ 1 → 2 : explosion isochore jusqu'à la pression P_2 ;
- ▷ 2 → 3 : détente isotherme jusqu'à un volume $V_3 = 2V_1$;
- ▷ 3 → 1 : compression isobare jusqu'à revenir au volume initial.

Les gaz brûlés sont ensuite évacués hors de la chambre de combustion, et un nouveau cycle démarre.

On introduit le coefficient γ du gaz parfait étudié, supposé connu et constant.

- 1) Pour pouvoir définir les grandeurs d'état tout au long des transformations, on raisonne sur des transformations quasi-statiques.
Représenter ces transformations dans un diagramme de Watt (P,V) (équivalent au diagramme de Clapeyron pour un système fermé). Vous justifierez l'allure des courbes représentatives.
- 2) Déterminer la température $T_2 = T_3$ à laquelle a lieu la détente. En déduire la pression maximale atteinte P_2 .
- 3) Calculer le travail et la chaleur reçus au cours de chacune des transformations.
- 4) a) En déduire le travail total fourni par le gaz au cours du cycle. Commenter son signe.
b) Justifier sans calcul qu'entre le début et la fin du cycle $\Delta U = 0$. En déduire le transfert thermique reçu par le gaz. Commenter son signe.
- 5) Calculer les variations d'entropie au cours de chacune des transformations. En déduire la variation d'entropie totale. Commenter.

Dans les docs de cette année :

<https://cahier-de-prepa.fr/mp-lafayette/download?id=3076&v=b85cb>

Ex 11 de

<https://cahier-de-prepa.fr/mp-lafayette/download?id=1393&v=44da1>