

Thermodynamique : TD 1 - Machines thermiques

I - Généralités

I.1.1 Rappeler l'identité fondamentale de la thermodynamique. Dans quels cas s'applique-t-elle ?

I.1.2 Énoncer rigoureusement le premier et le deuxième principe de la thermodynamique. Que traduisent ils ?

I.1.3 Soit un système thermodynamique dans un référentiel R , dont chaque particule i , possédant une vitesse \vec{v}_i , est soumise à une force extérieure \vec{f}_i . Calculer le travail microscopique total reçu par le système. En décomposant les vitesses de façon ad hoc, donner une définition du travail (au sens macroscopique) et de la chaleur.

I.1.4 Expliquer quel est l'intérêt des diagrammes (P,V) et (T,s) . Quelles grandeurs algébriques peut on en déduire ?

I.2.1 Rappeler les hypothèses qui sous-tendent le modèle du gaz parfait. Donner l'équation d'état du gaz parfait ainsi que l'expression de son énergie (cas mono et diatomique).

I.2.2 Dans le cas d'une évolution adiabatique réversible, énoncer et démontrer les lois de Laplace pour le gaz parfait.

I.2.3 Application : dans l'approximation acoustique, la vitesse du son isentropique c dans un fluide est donnée par :

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho\chi_s}}, \quad (1)$$

où ρ est la densité du fluide et $\chi_s = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_s$ le coefficient de compressibilité isentropique du gaz. Donner l'expression de c dans le cas d'un gaz parfait à une température T . Application numérique pour l'air pour $T = 20^\circ\text{C}$.

On considère maintenant un gaz parfait contenu à l'intérieur d'une enceinte, dans un état de référence donné par les grandeurs : P_0, T_0 et V_0 . On fait subir au gaz une transformation qui l'amène dans un état P_1, T_1 et V_1 .

I.2.4 La transformation est isotherme. Calculer les variations d'énergie interne et d'entropie du gaz, ainsi que la chaleur et le travail échangé avec l'extérieur au cours de la transformation. Interpréter physiquement ces résultats.

I.2.5 Mêmes questions pour des transformations isochores et isentropiques.

I.2.6 Comparer les pentes des isothermes et celles des isentropiques pour gaz parfait dans un diagramme (P,V) .

I.2.7 Un gaz parfait subit une détente de Joule-Kelvin à travers un système qui fournit une puissance mécanique P_w et une puissance thermique P_q . Il passe d'un état d'indice 1 à un état d'indice 2. On néglige toute variation d'énergie potentielle et on se place en régime permanent. Montrer rigoureusement la relation :

$$D_m \left(\left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} \right) - \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} \right) \right) = P_w + P_q, \quad (2)$$

où D_m est le débit massique du fluide.

I.2.8 Application : une turbine à vapeur fonctionne dans les conditions suivantes :

entrée : $P_1 = 60$ bars, $T_1 = 713\text{K}$, $v_1 = 160 \text{ m.s}^{-1}$, $h_1 = 3277.2 \text{ kJ.kg}^{-1}$

sortie : $P_2 = 0.95$ bars, $v_2 = 80 \text{ m.s}^{-1}$, $h_2 = 2673.2 \text{ kJ.kg}^{-1}$

Pour un débit massique $D_m = 20 \text{ kg.s}^{-1}$, la turbine fournit une puissance $P_w = 11.5 \times 10^6 \text{ W}$.

Calculer la puissance thermique P_q et préciser le sens de ce transfert thermique. Calculer les rapports $\frac{|P_q|}{|P_w|}$

et $\frac{\left| \frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} \right|}{|h_2 - h_1|}$. Commentaires.

II - Moteur à explosion

II.1.1 Expliquer le principe d'un moteur thermique. Quel est le rôle du fluide ?

II.1.2 Expliquer qualitativement pourquoi on ne peut pas avoir de moteur cyclique monotherme, c'est à dire fonctionnant avec une seule source de chaleur. Le démontrer rigoureusement.

II.1.3 Quelle est le rôle de la deuxième source de chaleur dans un moteur ditherme ?

II.1.4 Définir et calculer le rendement énergétique d'un moteur ditherme. Pourquoi n'est il pas de un ? Quelle est la borne supérieure à ce rendement ?

II.1.5 Définir la puissance d'un moteur. Pourquoi ne fait on pas des moteurs ayant un rendement maximal ?

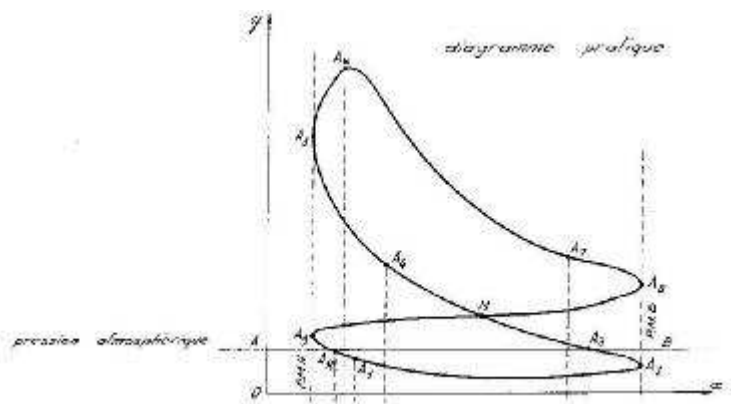
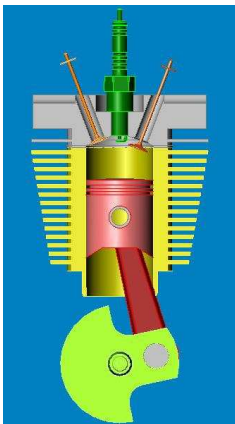


Figure 1: Coupe d'un cylindre d'un moteur à explosion et diagramme (P,V) correspondant.

II.2.1 On considère un moteur à explosion (voir la figure 1), dit à combustion interne : le fluide constituant le système (Σ) participe à la combustion. Il s'agit d'un mélange air-essence qui décrit le cycle de la figure 1.

Expliquer et situer sur le diagramme (P,V) les différentes étapes constituant le cycle du moteur : admission, compression, explosion et détente, échappement.

II.2.2 Commenter le signe du travail fourni par le système à l'extérieur. Expliquer le principe du frein moteur.

On modélise le moteur à explosion par le système suivant : le mélange air-carburant et les gaz d'échappement

sont assimilés au même gaz parfait de $\gamma = 1.4$, la chaleur dégagée par la combustion du carburant est supposée fournie par une source chaude fictive.

Le cycle décrit par le fluide est alors un cycle dit de Beau de Rochas : AB admission isobare isotherme, BC compression adiabatique réversible, CD combustion rapide isochore, DE détente adiabatique réversible, EB le gaz se détend et cède de la chaleur à l'atmosphère qui joue le rôle de source froide (modélisé par une isochore).

II.3.1 Tracer l'allure du diagramme (P,V) décrit par le fluide.

II.3.2 Calculer l'efficacité du moteur en fonction du taux de compression $\alpha = \frac{V_{\max}}{V_{\min}}$. Commentaires.

III - Réfrigérateur à fréon

III.1.1 Expliquer le principe de fonctionnement des réfrigérateurs et des pompes à chaleurs dithermes. Quelles sont leurs efficacités respectives maximales de fonctionnement ?

III.1.2 Dans le cas d'un réfrigérateur réel, qu'est ce qui joue le rôle du système thermodynamique. Qu'est ce qui fournit du travail ? Quelle est la source chaude, la source froide ? Peut on refroidir une pièce en laissant la porte du frigo ouverte? Pourquoi y a t il toujours une piscine à côté d'une patinoire ?

III.1.3 Quel est l'intérêt d'utiliser les changements d'état pour une machine thermique ?

On regarde maintenant le principe de fonctionnement d'un réfrigérateur fonctionnant avec un fluide de type fréon 12, fluides utiles, car leur pression de vapeur saturante est de l'ordre de quelques bars à température usuelle, mais nocifs pour la couche d'ozone de l'atmosphère.

Des caractéristiques du fréon 12 sont rassemblées dans le tableau ci dessous :

Température (K)	273	278	303
Pression de vapeur saturante (bar)	3.1	3.6	7.4
Chaleur latente massique de vaporisation ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	155	152	139

Le fluide est comprimé à la pression $P_1 = 7.4$ bar, puis, à pression constante, il échange de l'énergie par transfert thermique avec le milieu extérieur, dont la température est de 293 K. A la sortie de l'échangeur, le fluide est liquide à 303K (état A). Il passe dans un détendeur, où, sans variation notable de vitesse, sa pression est ramenée à $P_2 = 3.1$ bar (état B). Le détendeur est un appareil sans partie mobile : le fluide y subit une détente de Joule-Kelvin. Il passe dans un second échangeur thermique, où, à pression constante, il reçoit de la chaleur du milieu froid dont la température est supérieure à 278K. Il se vaporise dans l'échangeur et en sort à l'état gazeux, à 273 K (état C). Il passe dans le compresseur, où il subit une compression, supposée isentropique, et qui l'amène à la pression P_1 (état D). Il se refroidit, puis se liquéfie dans l'échangeur.

III.2.1 Tracer l'allure du cycle sur un diagramme (T,s)

III.2.2 Déterminer le titre en vapeur x_B à l'issue de la détente. Donnée : la capacité thermique c du liquide est égale à $0.5 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

III.2.3 Déterminer le travail du compresseur pour une masse m de fluide, en supposant que la vapeur est un gaz parfait. Données : La capacité thermique c_p du gaz à pression constante est égale à $0.25 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ et $\gamma = 1.4$.

III.2.4 Déterminer l'efficacité frigorifique du cycle. La comparer à l'efficacité d'un cycle de Carnot utilisant les mêmes sources.