

Enoncé (extrait CCP-MP) : Cycles moteurs de Carnot, Beau de Rochas et Stirling

Dans ce problème, il s'agit de comparer les efficacités des cycles moteurs de Carnot, Beau de Rochas et Stirling. Ce dernier cycle présente des caractéristiques intéressantes, notamment un faible niveau de pollution, une durée de vie élevée et une excellente efficacité.

1. Machine ditherme

Une masse m de gaz, constituée principalement d'air, subit un cycle moteur entre deux sources thermiques, l'une la source froide à la température $T_f = 290\text{ K}$, l'autre la source chaude à la température $T_C = 1450\text{ K}$.

1.a : Exprimer les bilans d'énergie et d'entropie au cours d'un cycle réel. On introduira les quantités algébriques suivantes, relatives à un cycle : W, Q_f, Q_C et S^P ; W est le travail reçu (algébriquement) par le fluide (si $W > 0$, il est effectivement reçu par le fluide, si $W < 0$, il est effectivement fourni par le fluide). De même Q_f est le transfert thermique reçu par le fluide de la part de la source froide ; Q_C est le transfert thermique reçu par le fluide de la part de la source chaude. Dans l'écriture de S^P , qui désigne l'entropie produite (ou créée), p est un indice et non un exposant.

1.b : On considère une machine ditherme décrivant un cycle moteur. Donner les signes de W, Q_f et de Q_C .

1.c : Etablir l'expression de l'efficacité η du moteur, appelée aussi rendement, en fonction de T_C, T_f, Q_C et S^P .

1.d : Que devient cette efficacité lorsque la machine ditherme fonctionne selon un cycle de Carnot (on rappelle que le cycle de Carnot est réversible) ? Calculer sa valeur η_C . Ce résultat, sensiblement inférieur à 1, doit-il être attribué à une imperfection de la machine (frottements divers) ou provient-il d'une limitation fondamentale ? Dans ce dernier cas, préciser la nature de cette limitation.

2. Cycle de Beau de Rochas et Otto

Dans un moteur à explosion, le fluide, de masse $m = 2,9\text{ g}$; assimilé à un gaz parfait diatomique de coefficient $\gamma = 1,4$, de masse molaire $M = 29\text{ g}$, suit une évolution cyclique $ABCD$ constituée de deux portions isentropiques, AB et CD , séparés par deux portions isochores, BC et DA que nous supposons quasi-statique. Le cycle n'est plus ditherme, il y a mise en contact du fluide avec une succession de sources chaudes et froides. Les températures et les pressions aux points A et C sont respectivement : $T_A = 290\text{ K}$ $p_A = 1\text{ bar}$ $T_C = 1450\text{ K}$ $p_C = 40\text{ bar}$

En outre, le taux de compression $\alpha_V = \frac{V_A}{V_C}$ est égal à 8. On donne la constante des gaz parfaits : $R = 8,3\text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

2.a : Quelle équation relie la pression et le volume le long des courbes AB et CD ? Calculer les pressions, en bar, p_B et p_D , en B et D respectivement, ainsi que les volumes en litre en ces points.

2.b : Représenter avec soin le cycle $ABCD$ dans le diagramme de Clapeyron (p, V). Justifier le sens de parcours du cycle.

2.c : Quelle est l'efficacité η_{BO} de ce cycle moteur, c'est-à-dire le rapport du travail fourni au milieu extérieur sur le transfert thermique reçu de la part des sources chaudes représentées sur la portion BC du diagramme ? Comparer η_{BO} à l'efficacité η_C du cycle de Carnot. Commenter.

3. Cycle de Stirling

Dans un cycle de Stirling, une même masse d'air ($m = 2,9\text{ g}$) suit une évolution cyclique supposée quasi-statique $A'B'C'D'$ constituée de deux portions isothermes $A'B'$ et $C'D'$ séparées par deux portions isochores $B'C'$ et $D'A'$. Les températures et les pressions aux points A' et C' sont les mêmes qu'aux points A et C respectivement. Le taux de compression $\alpha_V = \frac{V_{A'}}{V_{C'}}$ est aussi le même que précédemment.

3.a : Quelle équation relie la pression et le volume le long des courbes $A'B'$ et $C'D'$? En déduire les pressions $p_{B'}$ et $p_{D'}$, en B' et D' respectivement.

3.b : Représenter avec soin le cycle $A'B'C'D'$ dans le diagramme de Clapeyron (p, V). Comparer ce diagramme au précédent.

3.c : Quelle est l'efficacité η_S de ce cycle moteur, c'est-à-dire le rapport du travail fourni au milieu extérieur sur le transfert thermique reçu de la part des sources chaudes ? Comparer η_S à η_{BO} et η_C .