Série d'exercices n°9

** Exercice 1 *Thermalisation et réversibilité*

Exercice conceptuel sur les notions de réversibilité et d'irréversibilité (transparent 16) appliqué au cas du moteur de Stirling (semaine 8). Cette question a aussi été abordée lors des questions clickers.

1. Rappeler la notion de transformation réversible.
2. On considère maintenant deux thermostats aux températures T_1 et T_2 et un corps indéformable en contact avec le thermostat T_1, à l'équilibre thermodynamique. On le met ensuite en contact avec le thermostat T_2 et on attend qu'il soit à l'équilibre thermodynamique. Cette transformation est-elle réversible ou irréversible ?
3. On considère un cycle de Stirling, avec ou sans régénérateur. Est-il réversible ?

** Exercice 2 *Mise en service d'un réfrigérateur*

Suggestion : utiliser la relation de Clausius (transparent 25) sous avec des échanges de chaleur infinitésimaux.

À l'arrêt, un réfrigérateur est en équilibre thermique avec l'atmosphère d'un local à température 20°C. La capacité calorifique du réfrigérateur (incluant l'air à l'intérieur) est $C = 50\,\mathrm{kJ\,K^{-1}}$; on supposera cette valeur indépendante de la température à l'intérieur du réfrigérateur. On met alors le réfrigérateur en service. Celui-ci fonctionne de manière réversible. La température intérieure atteint 5°C en trente minutes.

1. Calculer les chaleurs échangées par le fluide thermique avec les sources chaude et froide pendant cette durée.
2. Déterminer la puissance mécanique P reçue par le fluide thermique circulant dans le réfrigérateur.

** Exercice 3 *Limite à la compressibilité brutale d'un gaz (Examen 2015)*

Un résultat surprenant sur la comparaison entre une transformation effectuée de manière quasi-statique ou non. Notions impliquées : premier principe, écriture du travail élémentaire. Truc : penser à utiliser la relation de Mayer et la définition de γ pour exprimer Cv en fonction de R et γ.

Soit un gaz parfait de coefficient adiabatique γ, de capacité calorifique molaire à volume constant C_{vm} et C_{pm} à pression constante. Un piston contient n moles de ce gaz à la pression P_0 et la température T_0. On défini le taux de compression $k = \frac{P_f}{P_0}$, ainsi que le rapport volumétrique $a = \frac{V_0}{V_f}$.

1. On fait varier la pression sur le piston de manière quasi-statique. Calculez le rapport volumétrique en fonction du taux de compression dans le cas où la compression est isotherme et le cas où elle adiabatique. Vérifiez que, pour autant que l'approximation des gaz parfait reste valide, le rapport volumétrique, a, augmente indéfiniment et n'est pas limité en fonction du taux de compression, k.

2. On fait maintenant varier brutalement la pression sur le piston à une nouvelle valeur constante P_1. Après un temps assez court le piston se stabilise et le gaz occupe maintenant un volume $V_f = \frac{V_0}{a}$. Comme la transition est très rapide le gaz n'échange pas de chaleur avec l'extérieur. Déterminer a en fonction de γ et k et montrer que a tend vers une limite supérieure quand le taux de compression tend vers l'infini.
3. Calculez la température finale T_f en fonction de γ, k et T_0. A.N. : Pour un gaz parfait monoatomique, $k = 10$ et $T_0 = 300K$.

** Exercice 4 *Cycles de Carnot et Stirling avec un gaz de Van der Waals (Examen 2015)*

Problème d'examen conceptuel qui nécessite très peu de calculs (sauf la question 3). Suggestion : théorème du rendement maximum, transparents 21, 22 et résultats de l'exercice 1.

On s'intéresse à l'efficacité d'un cycle moteur contenant un gaz de Van der Waals. L'équation d'état et l'énergie interne d'un gaz de Van der Waals sont données par :

$$(p + \frac{n^2 a}{V^2})(V - nb) = nRT$$

$$U = C_v T - \frac{n^2 a}{V}$$

Note : très peu de calculs sont nécessaires dans cet exercice.

1. On fait décrire un cycle de Carnot à une mole de gaz de Van der Waals. Quelle est l'efficacité $\eta_{\text{Carnot,VdW}}$ du moteur ? On suppose que le moteur fonctionne entre les deux températures extrêmes T_c (chaude) et T_f (froide) et que toutes les transformations sont réversibles. Comment ce résultat se compare à l'efficacité $\eta_{\text{Carnot, GP}}$ d'un cycle de Carnot pour un gaz parfait ?
2. On fait décrire au gaz de Van der Waals un cycle de Stirling. Quelle est l'efficacité $\eta_{\text{Stirling, VdW}}$ en présence d'un régénérateur parfait en supposant que les transformations isochores se font aux volumes V_A et V_B (où $V_A < V_B$) et que le moteur fonctionne entre les températures T_c et T_f ?
   Comment $\eta_{\text{Stirling, VdW}}$ se compare à l'efficacité $\eta_{\text{Carnot,VdW}}$ trouvée dans la question 1 ?
3. Que devient l'efficacité $\eta_{\text{Stirling,VdW}}$ pour le cycle de Stirling décrit dans la question 2 si le régénérateur ne fonctionne pas du tout ?

   Aide : $\int \frac{dx}{x-a} = ln(x-a)$ et $\int \frac{dx}{x^2} = -\frac{1}{x}$.