

Thermodynamique - TD 3

Machines thermiques

22 novembre 2005

I - Sources de chaleur et inégalité de Clausius

1. On appelle Σ un système fermé, indéformable et immobile, de capacité calorifique C_v . Initialement, le système est en équilibre à la température T_0 . Au cours d'une transformation, il reçoit, de la part de l'extérieur, une quantité de chaleur donnée, notée Q . On suppose qu'il n'est soumis à aucun champ extérieur. Calculer la variation de sa température, ainsi que celle de son entropie. Que deviennent-elles dans le cas où C_v est grande (on précisera par rapport à quoi)? De tels systèmes sont appelés sources de chaleur ou thermostats.
2. On considère un corps indéformable $\mathcal{C}$ de capacité calorifique C_v constante, initialement à la température $T_i = T_0$. On le porte à la température $T_f = T_n$ par une série de contacts successifs avec n thermostats $\mathcal{T}_k$ dont les températures respectives sont $T_k = \alpha^k T_0$. Calculer la variation d'entropie de l'ensemble $\{\text{solide} + \text{thermostats}\}$ supposé isolé. Etudier la limite $n \rightarrow \infty$ en n'oubliant pas que α dépend de n . Le résultat vous surprend-il?
3. Soit un système $\mathcal{C}$ qui, au cours d'un cycle, reçoit des quantités de chaleur Q_k de la part de n thermostats aux températures T_k . Démontrer l'inégalité de Clausius, $\sum_k (Q_k/T_k) \leq 0$. Quand a-t-on égalité? En déduire qu'on ne peut pas obtenir de travail d'un système décrivant un cycle monotherme, c'est-à-dire ne comportant qu'une seule source de chaleur.

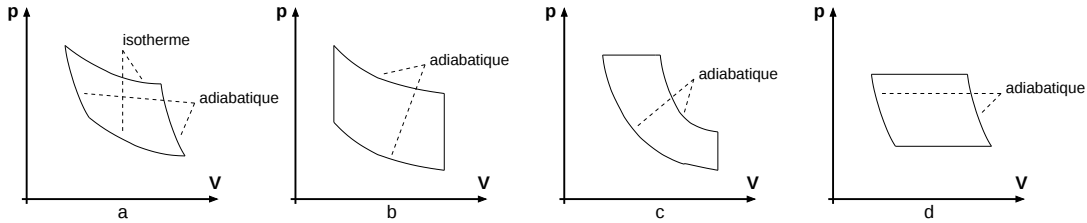
II - Machines dithermes

1. On considère un système $\mathcal{S}$ échangeant du travail avec le milieu extérieur et de la chaleur avec deux thermostats, l'un à la température T_f , dit "source froide", et l'autre à la température T_c , dit "source chaude". On suppose bien entendu que $T_c > T_f$. Ecrire les bilans énergétiques et entropiques du système, sachant que celui-ci décrit un cycle.
2. Définir l'efficacité e d'une telle machine lorsqu'elle est utilisée respectivement comme moteur, réfrigérateur, et pompe à chaleur. Montrer que, dans les trois cas, l'efficacité est limitée supérieurement par une valeur e_m ne dépendant que des deux températures T_f et T_c . Donner l'expression de cette efficacité maximale (efficacité de Carnot) dans chaque cas.

III - Cycles moteurs

1. On considère un gaz parfait décrivant un cycle de Carnot réversible, représenté sur la figure *a*. Dans quel sens ce cycle doit-il être parcouru? Indiquer le temps moteur, tracer le diagramme entropique associé dans le plan (T, S) et calculer l'efficacité e .

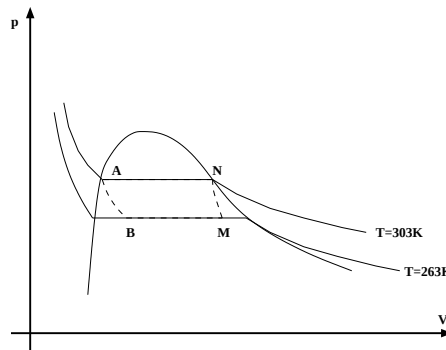
2. Mêmes questions dans le cas où le gaz décrit un cycle de Beau de Rochas (figure *b*). Dans cette question ainsi que les suivantes, on introduira les rapports de volumes pertinents.
3. Mêmes questions dans le cas où le gaz décrit un cycle Diesel (figure *c*)
3. Mêmes questions dans le cas où le gaz décrit un cycle turboréacteur (figure *d*)



IV - Le réfrigérateur à fréon

Dans ce système, le fluide caloporteur est un fréon, qui subit quatre évolutions successives formant le cycle $A \rightarrow B \rightarrow M \rightarrow N$ représenté sur le diagramme de Clapeyron ci-dessous. Initialement liquide dans l'état A , le fréon subit une détente de Joule - Thomson dans un détendeur, ce qui le fait évoluer vers le mélange B . Puis il se vaporise partiellement à pression et température constantes dans un évaporateur en recevant de la chaleur de la part de la source froide, constituée du contenu du réfrigérateur, dont la température est $T_f = 268 \text{ K}$. Le fréon passe ensuite au travers d'un compresseur calorifugé et évolue vers l'état N dont la température est $T_N = T_A$. Enfin, le gaz subit une évolution isobare et isotherme dans un condenseur, où il retourne à l'état A en fournissant de la chaleur à la source chaude - à savoir l'air de la pièce où est placé le réfrigérateur - dont la température est $T_c = 298 \text{ K}$. On suppose que le régime est stationnaire et on fournit les fractions massiques gazeuses des différents états, ainsi que les enthalpies massiques de vaporisation pertinentes :

$$x_A = 0 \quad x_B = 0,24 \quad x_M = 0,98 \quad x_N = 1 \quad l_{263} = 159 \text{ J.g}^{-1} \quad l_{303} = 139 \text{ J.g}^{-1}$$



1. Quelles sont les quantités conservées lors des évolutions AB et MN ?
2. En raisonnant sur le transfert d'une masse m de fréon à travers tous les éléments du système, calculer simplement l'efficacité de cette machine ditherme et la comparer avec l'efficacité de Carnot. Conclusions?