

PRÉPA AGRÉG
PHYSIQUE 2014-2015



ENS CACHAN

LEÇON DE PHYSIQUE

**LP13 : Application des deux
premiers principes de la
thermodynamique au fonctionnement
des machines thermiques**

Auteurs :
Edouard LE CERF
Souhila KADDOUR

Correcteur :
M. Marc LEGENDRE

11 Février 2015

Table des matières

Introduction	2
1 Moteurs	3
1.1 Mise en équation	3
1.2 Cycle de Carnot	3
1.3 Moteur de Stirling	4
1.4 Moteur à explosion	4
2 Récepteurs	5
2.1 Mise en équation	5
2.2 Le réfrigérateur à air	5
2.3 Réfrigérateur à changement d'état	6
3 Questions-Commentaires	7
3.1 Questions	7
3.2 Commentaires	7
3.2.1 Moteurs	7
3.2.2 Récepteurs	8
Références	9

Introduction

Dans cette leçon, seront décrites les machines thermiques en tant que moteurs puis en tant que récepteurs. On prendra bien le temps d'utiliser les deux premiers principes de la thermodynamique pour détailler leur fonctionnement dans le cas d'exemples courants.

Préalablement et en guise d'introduction, on définit une machine thermique comme un système fonctionnant de façon cyclique et permettant l'échange d'énergie thermique Q et de travail W .

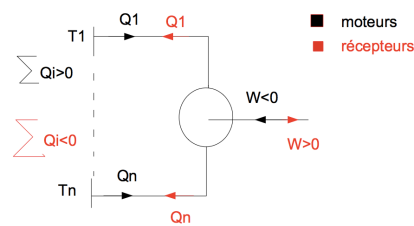


FIGURE 1 – Schéma d'une machine thermique

1 Moteurs

1.1 Mise en équation

Le premier principe permet d'exprimer que dans le cadre d'étude d'un système fermé, la variation d'énergie interne est nulle. Ainsi,

$$\Delta U = 0 = \sum Q_i + W$$

Le second principe, dans le même cadre, permet de noter :

$$\Delta S = 0 = \sum \frac{Q_i}{T_i} + S_c.$$

Les conséquences directes de ces deux principes :

1. inégalité de Clausius : $S_c \geq 0$ donc $\sum \frac{Q_i}{T_i} \leq 0$
2. Impossibilité d'un moteur monotherme : $\frac{Q}{T} \leq 0$, $W < 0$ et donc $W+Q=0$

Pour toute la suite, on s'intéresse aux machines dithermes

1.2 Cycle de Carnot

Le cycle de Carnot est le cycle idéal d'un moteur. Calculons donc son rendement pour une machine ditherme c'est-à-dire à une source chaude Q_c et une source froide Q_f . Le rendement est défini comme étant le rapport de l'énergie utile sur l'énergie consommée, soit : $\eta = -\frac{W}{Q_c}$ En réexprimant W en fonction de Q_c et Q_f , il reste $\eta = 1 + \frac{Q_f}{Q_c}$ soit $\eta \leq 1 - \frac{T_f}{T_c}$

Théorème de Carnot : Le rendement maximal d'un moteur ditherme est obtenu pour un cycle réversible et vaut $1 - \frac{T_f}{T_c}$ Le cycle correspondant à ce rendement est constitué de deux isothermes et de deux isentropiques, il est appelé cycle de Carnot

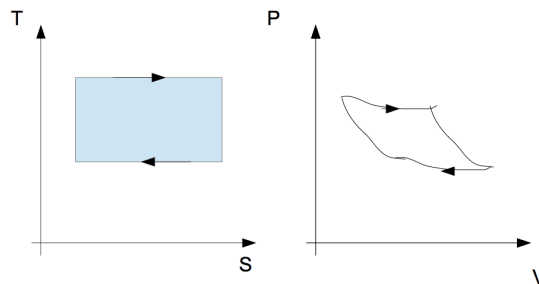


FIGURE 2 – Cycle de Carnot

1.3 Moteur de Stirling

On dispose d'un petit moteur de Stirling qu'il convient de présenter au cours de la leçon et ainsi énumérer les différentes étapes du cycle en direct. On dispose également d'un schéma de celui-ci sur rétro à projeter au moment de la description 3. Il ne reste plus qu'à faire démarrer le Stirling en direct. C'est un moteur qui revient à la mode car il est écologique. Tous les types de combustibles sont acceptés car résident dans une partie externe au fluide. Détaillons les quatre étapes du moteur pour ensuite calculer son efficacité :

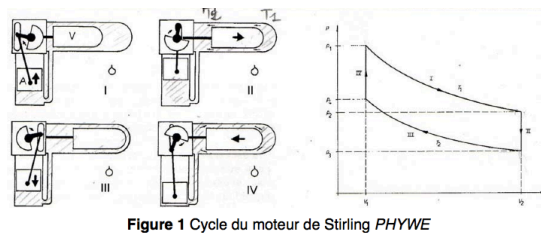


FIGURE 3 – Schéma du moteur de Stirling

1. Détente isotherme en donnant W et recevant Q
2. Refroidissement à V_1 constant
3. V_1 comprimé à T constant : reçoit du W et fournit du Q au milieu extérieur
4. V_2 constant mais augmentation de T

de quoi l'on déduit le rendement moteur η_m tel que :

$$\eta_m = \frac{-W}{Q_c} = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}{Q_1} \quad (1)$$

d'où $\eta_m = 1 - \frac{T_4}{T_1}$. On reconnaît ici le même rendement que le moteur idéal grâce à la récupération de chaleur.

1.4 Moteur à explosion

sur transparent + étapes expliquées à l'aide du schéma sur rétroprojecteur.

2 Récepteurs

2.1 Mise en équation

Fonction moteur inversé donc mise en équation basée sur les deux principes de la thermodynamique comme précédemment puis calcul de l'efficacité.

$$Q_c + Q_f + W = 0 \quad (2)$$

$$\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} + S_c = 0 \quad (3)$$

On définit ensuite l'efficacité comme le rapport d'énergie thermique fournie par la source froide et du travail mécanique de la machine. Il vient :

$$\epsilon = \frac{Q_f}{W} = \frac{1}{\frac{T_c}{T_f} - 1 + \frac{T_c S_c}{Q_f}} \leq \frac{1}{\frac{T_c}{T_f} - 1} = \epsilon_{max} \quad (4)$$

De la même manière que précédemment, on peut tracer les cycles correspondants à ϵ_{max} . Ce ne sont rien d'autres que les cycles de Carnot parcourus dans le sens opposé.

2.2 Le réfrigérateur à air

Avec le schéma4, on prend bien le temps de détailler chaque étape dans le cas du réfrigérateur à air puis dans le cas du réfrigérateur à changement d'état. Même principe. On peut d'ailleurs se passer du réfrigérateur à air. A la place on pourrait par exemple détailler l'utilisation d'un diagramme dit "du frigoriste" 6

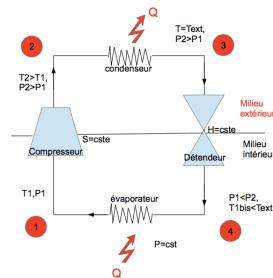


FIGURE 4 – Fonctionnement d'un réfrigérateur

2.3 Réfrigérateur à changement d'état

cf partie 2.2

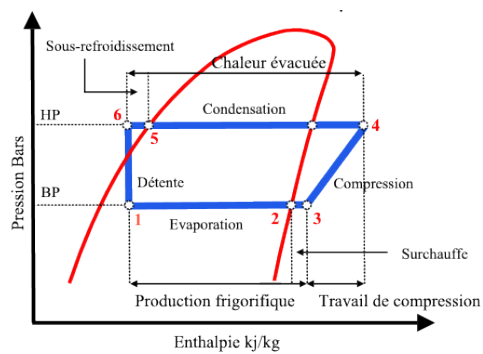


FIGURE 5 – Diagramme de Mollier idéal

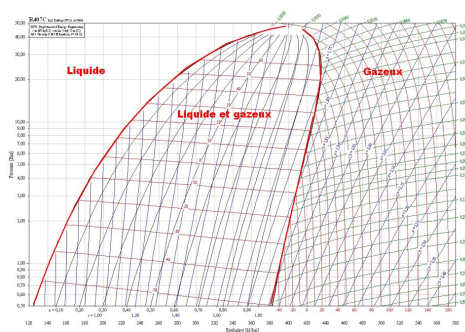


FIGURE 6 – Diagramme du frigorigère

3 Questions-Commentaires

3.1 Questions

1. Cycle de Carnot intéressant ?
Non car on perd de l'aire pour les P et v trop extrêmes.
2. η_{carnot} si intéressant que ça ?
dépend du fluide utilisé en réalité.
3. Connaître fonctionnement d'un moteur diesel. Avantages et inconvénients.
4. Comment évaluer expérimentalement le rendement pour le moteur Stirling présenté ?
5. Qu'est-ce qu'un moteur à pseudo-source ?
C'est un moteur dont la température du moteur change.
6. Quelle est l'utilité des calculs de rendement ? Applique-t-on vraiment les principes de la thermodynamique pour fabriquer des moteurs ?
Non car les cycles thermiques obtenus et étudiés sont bien différents des cycles réels.
7. Quelle hypothèse pour la réversibilité ?
On considère que les transformations sont quasi-statiques ce qui n'est pas vraiment le cas réellement.
8. Le moteur à explosion est-il un système ouvert ou fermé ?
Il est ouvert mais en considérant une masse fixe lorsque les soupapes sont fermées, cela revient à approximer durant "le temps de calcul" qu'il s'agit d'un système fermé.
9. Pourquoi avoir étudié les machines dithermes seulement ?
Non pas que les polythermes soient plus compliquées mais surtout parce que les dithermes sont les plus courantes.

3.2 Commentaires

3.2.1 Moteurs

Utiliser le diagramme de Mollier car il est maintenant au programme. Aucun intérêt de s'attarder sur les zones de fonctionnement moteurs-récepteurs. En revanche, on peut facilement calculer l'efficacité d'un frigo ou d'une pompe à chaleur graphiquement. Savoir utiliser un logiciel pour le diagramme de tous les fluides (pas connu lors de notre présentation) mais apparemment mérite le détour. Moteur de Stirling peu intéressant car pas vraiment courant. A la limite le

présenter sans calcul car trop d'approximation. Il serait plus intéressant de calculer le rendement sur le moteur à disposition...

3.2.2 Récepteurs

Bien insister sur les sens des transferts thermiques. Mieux vaut détailler le frigo à changement d'état et la pompe à chaleur que le frigo à air. (Ici la pompe à chaleur n'avait pas été traitée). Puis, faire l'étude sur un diagramme P-h réel pour en extraire expérimentalement l'efficacité.

Globalement pas mauvais mais insister sur une approche pratique des diagrammes pour en extraire les informations utiles couramment, éviter de faire une présentation trop qualitative et donc superficielle. Il est important de citer également les autres propriétés de choix d'un moteur que son rendement. Par exemple son poids, son volume...

Références

- [1] Pérez. *Thermodynamique*.
- [2] BFR. *Thermodynamique*.
- [3] Grécias *Tec et Doc PCSI/Thermodynamique-Machines thermiques*.
- [4] Gié. *Thermodynamique*.