Licence Science de la Mer et de l'Environnement

Physique Générale

Chapitre 17 :Deuxième principe de la thermodynamique

1 – <u>Rappel du premier principe</u>

C'est l'équivalence de la chaleur et du travail.

« Le bilan thermodynamique $W+Q$ des échanges entre un système et le milieu extérieur a la même valeur pour toutes les transformations qui conduisent le système du même état initial au même état final »

2 – <u>Insuffisances du premier principe de la thermodynamique</u>

Questions :

a) Peut-on faire une transformation telle que le travail W soit déterminé en partant d'un point initial à un point final ?

b) Peut-on aller de A vers B, puis de B vers A en suivant le même parcours ?

Le premier principe de la thermodynamique n'interdit pas cela. Cependant on observe expérimentalement que :

a) La chaleur passe toujours du corps chaud vers le corps froid.

b) On obtient de la chaleur par frottement, mais pas l'inverse.

c) Deux gaz se mélangent spontanément, l'inverse ne se produit pas.

3 – <u>Les moteurs thermiques</u>

Il s'agit de systèmes cycliques, c'est à dire qui continuent indéfiniment. C'est un système qui reçoit de la chaleur et qui fournit du travail au milieu extérieur :

$$W+Q=0 \quad \text{avec} \quad W<0 \ \text{ et } \ Q>0$$

4 – <u>Impossibilité du moteur thermique monotherme</u>

Un moteur monotherme n'a qu'une source de chaleur. On peut imaginer deux cas :

a) $W>0$ et $Q>0$ car $W+Q=0$

Il s'agit de frottements qui transforment le travail en chaleur. Ce n'est donc pas un moteur.

b) $W<0$ et $Q>0$, car $W+Q=0$

W. Thomson a énoncé le principe que cela était impossible

5 – <u>Deuxième principe de la thermodynamique</u>

« Il est impossible de réaliser une transformation cyclique monotherme avec production de travail extérieur »

Remarque :

On peut réaliser du travail avec une seule source de chaleur, mais ce n'est pas cyclique. Par exemple en chauffant une barre métallique qui se dilate. Mais ce n'est pas cyclique.

6 – Moteur thermique ditherme : Principe de Carnot

Si on revient à l'exemple précédent, pour revenir à l'état initial et recommencer le cycle, il faut refroidir la barre métallique, donc une autre source de chaleur plus froide. Il y a donc deux sources de chaleur dans cet exemple : une pour chauffer la barre, et l'autre pour la refroidir.

Dans un moteur ditherme, il y a deux sources de chaleur:la source chaude à la température T_1 et la source froide à la température T_2 . Les échanges de chaleur avec ces deux sources sont Q_1 et Q_2 . Le travail fourni étant W , d'après le premier principe on a : $W+Q_1+Q_2=0$, comme le système produit du travail, c'est un moteur, on doit avoir $W<0$. Donc : $Q_1+Q_2>0$.

a) Supposons $Q_1>0$ et $Q_2>0$

Avec cette hypothèse, le système reçoit de la chaleur des deux sources. Supposons une troisième source à la température T_3 telle que $T_3>T_1$ et $T_3>T_2$. Cette troisième source peut donc donner Q_1 et Q_2 à T_1 et T_2 . C'est donc comme si on a n'avait qu'une seule source de chaleur à la température T_3 . On a donc en réalité un moteur monotherme, ce qui est impossible à cause du deuxième principe de la thermodynamique.

b) **Supposons $Q_1<0$ et $Q_2>0$**

Comme $Q_1+Q_2>0$, on a $Q_2>-Q_1$ que l'on peut aussi réécrire : $|Q_2|>|Q_1|$

Ce qui revient à dire que la source froide donne de la chaleur à la source chaude, ce qui est impossible à cause du deuxième principe de la thermodynamique.

c) **Supposons $Q_1>0$ et $Q_2<0$**

Comme $Q_1+Q_2>0$, on a $Q_1>-Q_2$ que l'on peut aussi réécrire : $|Q_1|>|Q_2|$

$W+Q_1+Q_2=0$ donc : $W=-Q_1-Q_2=-|Q_1|+|Q_2|$

Le travail W est négatif donc $|W|=|Q_1|-|Q_2|$

Principe de Carnot : Un moteur thermique ne peut fonctionner que s'il possède deux sources de chaleur. C'est la seule solution compatible avec le deuxième principe de la thermodynamique.

7 – Rendement thermique d'un moteur thermique

La quantité de chaleur $|Q_1|-|Q_2|$ a été transformée en travail $|W|$. La chaleur Q_2 est perdue pour le système, puisqu'elle est apportée à la source froide T_2 . Pour calculer le rendement du moteur, nous ne devons tenir compte que du travail W fourni et de la chaleur Q_1 apportée. Le rendement du moteur est donc :

$$\rho=\frac{|W|}{|Q_1|}=\frac{|Q_1|-|Q_2|}{|Q_1|}=1-\frac{|Q_2|}{|Q_1|}=1+\frac{Q_2}{Q_1}$$

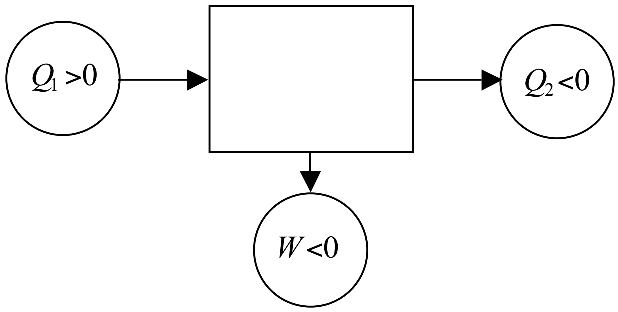
8 – <u>Moteurs thermiques réversibles</u>

On peut distinguer deux cas suivant le signe de W

a) Sens moteur

C'est le cas du moteur étudié précédemment : $W<0$, $Q_1>0$ et $Q_2<0$. Alors :

$$|W|=|Q_1|-|Q_2|$$

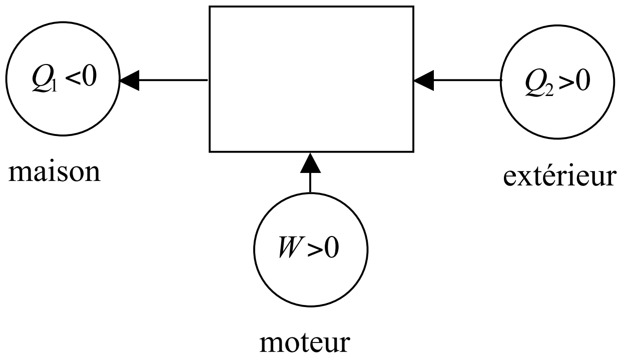


b) Sens récepteur : pompe à chaleur et réfrigérateur

Dans ce cas, on transforme du travail en chaleur :

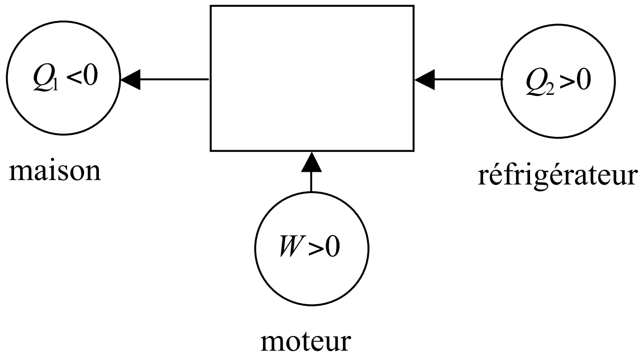
La Pompe à chaleur

Le système reçoit du travail $W>0$, de la chaleur de la source froide $Q_2>0$, et fournit de la chaleur à la source chaude : $Q_1<0$.



Le réfrigérateur

Le système reçoit du travail $W>0$, de la chaleur de la source froide $Q_2>0$, et fournit de la chaleur à la source chaude : $Q_1<0$.



9 – Echelle thermodynamique de température

Soient deux moteurs fonctionnant en série avec trois sources de chaleur : $t_1 > t_0 > t_2$. Le premier moteur fonctionne entre t_1 et t_0, le deuxième entre t_0 et t_2.

Pour le premier moteur le rendement est : $\rho_{10} = 1 - \left|\frac{Q_0}{Q_1}\right|$

Pour le deuxième moteur, le rendement est : $\rho_{02} = 1 - \left|\frac{Q_2}{Q_0}\right|$

Soit la fonction $\varphi(t) = \left|\frac{Q}{Q_0}\right|$

Alors : $\left|\frac{Q_0}{Q_1}\right| = \frac{1}{\varphi(t_1)}$ $\qquad \left|\frac{Q_0}{Q_1}\right| < 1 \qquad$ donc : $\varphi(t_1) > 1$

Et : $\left|\frac{Q_2}{Q_0}\right| = \varphi(t_2)$ $\qquad \left|\frac{Q_2}{Q_0}\right| < 1 \qquad$ donc : $\varphi(t_2) < 1$

Un moteur fonctionnant entre t_1 et t_2 aura pour rendement : $\rho_{12} = 1 - \left|\frac{Q_2}{Q_1}\right|$

On peut écrire : $\left|\frac{Q_2}{Q_1}\right| = \left|\frac{Q_2}{Q_0}\right| \cdot \left|\frac{Q_0}{Q_1}\right|$

Le rendement de ce moteur sera : $\rho_{12} = 1 - \left|\frac{Q_2}{Q_1}\right| = 1 - \left|\frac{Q_2}{Q_0}\right|\left|\frac{Q_0}{Q_1}\right| = 1 - \frac{\varphi(t_2)}{\varphi(t_1)}$

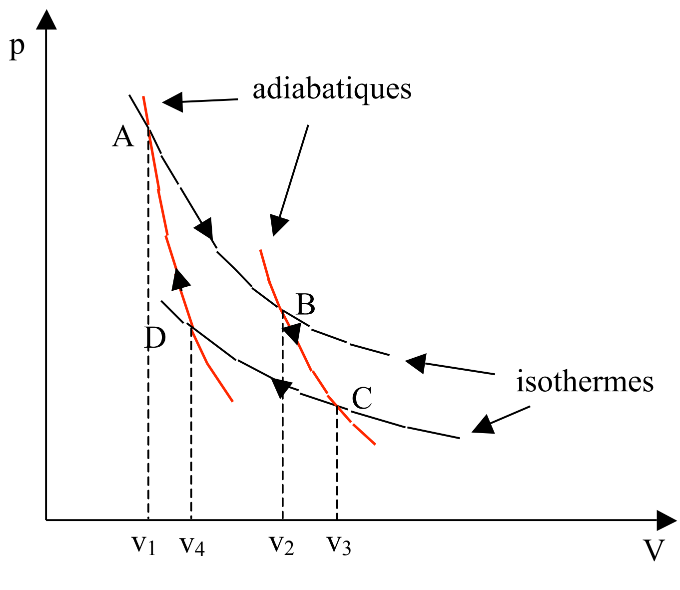
Avec $\varphi(t_1) > \varphi(t_2)$

On définit une échelle thermodynamique de température.

Kelvin a choisi $\varphi(t) = \theta$. Donc $\left|\frac{Q_2}{Q_1}\right| = \frac{\theta_2}{\theta_1}$

10 – Identité de l'échelle thermodynamique et de l'échelle absolue des gaz parfaits

On réalise un cycle de Carnot composé de deux isothermes et de deux adaibatiques. On se met dans le sens moteur.



Isothermes :

Trajet AB : $Q_1 = RT_1 \ln\frac{v_2}{v_1}$

Trajet CD : $Q_2 = RT_2 \ln\frac{v_4}{v_3}$

Donc : $\left|\frac{Q_1}{Q_2}\right| = \frac{T_1}{T_2}\frac{\left|\ln\frac{v_2}{v_1}\right|}{\left|\ln\frac{v_4}{v_3}\right|}$

Adiabatiques :

Trajet BC : $T_1\, v_2^{\gamma-1} = T_2\, v_3^{\gamma-1}$

Trajet DA : $T_2\, v_4^{\gamma-1} = T_1\, v_1^{\gamma-1}$

Donc : $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_3}{v_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{v_4}{v_1}\right)^{\gamma-1}$ donc : $\frac{v_3}{v_2} = \frac{v_4}{v_1}$ ou encore : $\frac{v_2}{v_1} = \frac{v_3}{v_4}$

Ce qui fait que : $\ln\frac{v_2}{v_1} = -\ln\frac{v_4}{v_3}$

Comme : $\left|\frac{Q_1}{Q_2}\right| = \frac{T_1}{T_2}\frac{\left|\ln\frac{v_2}{v_1}\right|}{\left|\ln\frac{v_4}{v_3}\right|}$, on en déduit : $\left|\frac{Q_1}{Q_2}\right| = \frac{T_1}{T_2}$

Or nous avons vu que : $\left|\frac{Q_2}{Q_1}\right| = \frac{\theta_2}{\theta_1}$

Les températures T et θ sont proportionnelles. On peut donc choisir $T = \theta$. L'échelle thermodynamique et l'échelle absolue des gaz parfaits sont identiques

11 – <u>Rendement d'un moteur thermique</u>

Le rendement d'un moteur thermique est donné par :

$$\boxed{\rho = 1 - \frac{T_2}{T_1}}$$

le rendement est d'autant plus élevé que la température de la source chaude est élevé, et celui de la source froide le plus bas possible.