

Les Machines Thermiques

I. Enoncé (de Clausius) :

Le passage de la chaleur d'un corps froid à un corps chaud n'a jamais lieu sans compensation. Cela veut dire qu'une telle transformation n'est possible que si elle est liée à une modification qui a lieu dans le milieu extérieur.

Une machine thermique est tout dispositif capable de convertir de l'énergie thermique en une énergie mécanique ou vis-versa en subissant une transformation cyclique.

- 1. Machine monotherme :** qui n'est en contact qu'avec une seule source de chaleur, elle ne peut donc que recevoir du travail et céder de la chaleur au cours d'un cycle ($W > 0$ et $Q < 0$).

Enoncé (de Lord Kelvin):

A l'aide d'un système qui décrit un cycle et qui est en contact qu'avec une seule source de chaleur, il est impossible de recueillir du travail.

On appelle source de chaleur tout corps capable de fournir ou d'absorber de la chaleur, tout en restant à température constante. Exemple : Lac, glace fondante ou eau bouillante.



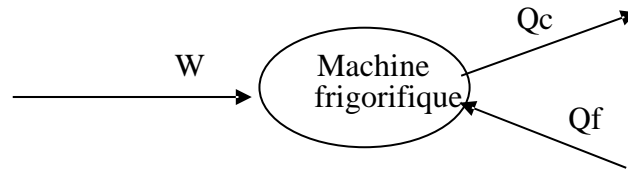
Transformation impossible

- 2. Machine ditherme :** elle est en contact avec deux sources de chaleurs ayant deux températures différentes.

$W < 0$: moteur thermique

$W > 0$: machine frigorifique ou pompe à chaleur

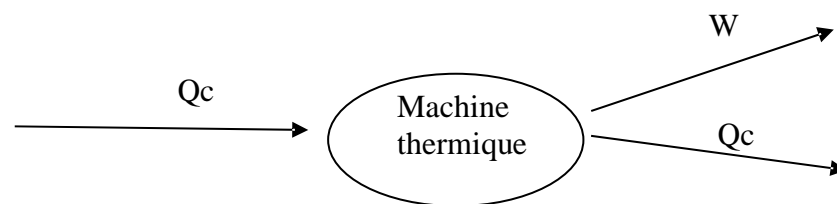
Exemple: Dans une machine frigorifique il faut fournir du travail pour faire passer de la chaleur du corps froid (intérieur de l'armoire frigorifique) au corps chaud (extérieur de la machine)



II. MACHINE THERMIQUE : CYCLE DE CARNOT :

a- principe de machine de Carnot :

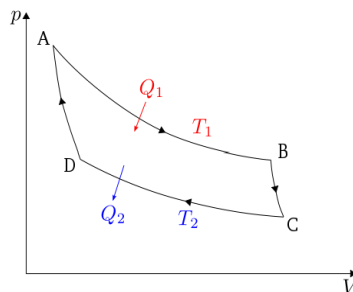
Pour qu'une machine effectue régulièrement un travail (lors d'un cycle) à partir d'énergie thermique, il faut disposer d'une source chaude (Q_c) et une source froide (Q_f).



b- Cycle de Carnot :

La machine de Carnot est une machine dithermes. Elle fonctionne selon un cycle composé de deux transformations isothermes (T_1 : source chaude et T_2 : source froide) et de deux transformations adiabatique (transformation BC et DA)

Le diagramme de Clapeyron ($P=fct(V)$) pour le cycle de Carnot est donné dans la figure suivante



II.1. Rendement d'un moteur de Carnot :

On définit le rendement d'un moteur thermique par :

$$\eta = R_{\text{rev}} = \frac{\text{Energie produite (sortie)}}{\text{Energie Consommée (entrée)}} = \frac{-W}{Q_c} = \frac{Q_c + Q_f}{Q_c}$$

$$\eta = R_{\text{rev}} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

Pour un moteur irréversible $R_{\text{irrev}} < 1 - \frac{T_f}{T_c}$

II.2. Rendement d'une machine frigorifique (Efficacité ou coefficient d'effet frigorifique)

$$\varepsilon_{\text{rev}} = \frac{Q_f}{W} = \frac{Q_f}{-(Q_c + Q_f)} = \frac{T_f}{T_c - T_f}$$

Pour les machines irréversibles $\varepsilon_{\text{irrev}} < \varepsilon_{\text{rev}}$

II.3. Rendement d'une pompe à chaleur de Carnot :

L'efficacité de ce cycle dite aussi coefficient de performance, elle est donnée par la relation :

$$\text{COP}_{\text{rev}} = \frac{Q_c}{W} = \frac{Q_c}{-(Q_c + Q_f)} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

Pour les machines irréversibles $\text{COP}_{\text{irrev}} < \text{COP}_{\text{rev}}$

Applications

1/ Un moteur thermique fonctionne suivant le cycle de Carnot entre deux sources de température 200 K et 800 K. calculer le travail fourni par le moteur au cours de chaque cycle sachant qu'il absorbe une chaleur de 8 KJ.

R étant le rendement de la machine

$$R = -W / Q_1 = 1 - (T_2 / T_1)$$

$$\text{Donc } W = -Q_1 (1 - T_2 / T_1) = -6000 \text{ J}$$

2/ Une machine thermique opère entre une source chaude à 200 K et une source froide à 100 K. A chaque cycle le système emprunte à la source chaude une quantité de chaleur de 100 J et cède à la source froide une quantité de chaleur de 25 J pour un travail de 75 J. Le cycle décrit par cette machine est-il possible ?

Pour le bon fonctionnement d'une machine il faut qu'elle vérifie les deux premiers principes de la thermodynamique.

$$a. \Delta U_{\text{cycle}} = 0 \text{ donc } Q_{\text{cycle}} + W_{\text{cycle}} = W + Q_1 + Q_2 = 0$$

$Q_{\text{cycle}} + W_{\text{cycle}} = 100 - 25 - 75 = 0$ donc le premier principe de la thermodynamique est vérifié

$$b. (Q_1 / T_1) + (Q_2 / T_2) = (100 / 200) - (25 / 100) = 0,25 > 0 \text{ donc le second principe de la thermodynamique n'est pas vérifié}$$

Conclusion : le cycle n'est pas possible