Énoncé simplifié du Second Principe – Machine de Carnot

A – Second Principe :

1°) Énoncé simplifié :

Soit un système thermodynamique subissant une transformation élémentaire **réversible** au cours de laquelle il reçoit (algébriquement) une chaleur δQ_{rev}.

On associe au système une fonction d'état S (entropie) dont la variation élémentaire s'écrit :

$$dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}.$$

S est une grandeur extensive qui s'exprime en $J.K^{-1}$.

2°) Cas d'une transformation finie :

$$\Delta S_{1\to 2} = \int_{\text{état 1}}^{\text{état 2}} \frac{\delta Q_{rev}}{T}$$

Comme S est une fonction d'état, on a :

$$\Delta S_{1\to 2} = \int_{\text{état 1}}^{\text{état 2}} \frac{\delta Q_{rev}}{T} = S_2 - S_1$$

Remarque : Cas particulier d'une évolution cyclique : $(\Delta S)_{cycle} = 0$

3°) Cas particulier d'une transformation adiabatique (et réversible !) :

La chaleur reçue par le système est nulle de sorte que l'on a : $\Delta S_{1\to 2} = 0$

Une transformation adiabatique et réversible est isentropique.

4°) Cas particulier d'une transformation isotherme (donc réversible) :

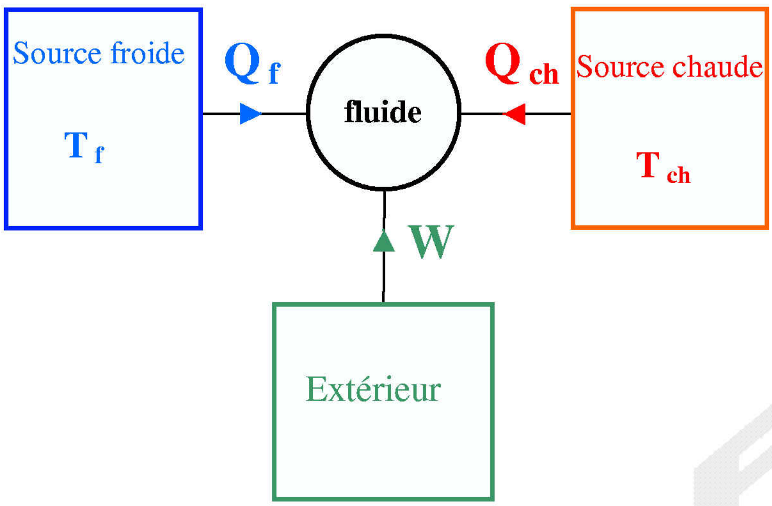
$$\Delta S_{1\to 2} = \frac{1}{T_1}\int_{\text{état 1}}^{\text{état 2}} \delta Q_{rev} = \frac{1}{T_1} Q_{12} \text{ donc :}$$

$$Q_{12} = T_1 (S_2 - S_1)$$

B - Cycle de Carnot

Les chaleurs et les travaux sont reçus par le fluide qui décrit un cycle réversible constitué par **deux isothermes et deux adiabatiques**.

Le fluide (c'est le système thermodynamique étudié) échange de la chaleur (de façon isotherme) et du travail selon le schéma de principe qui suit.



$(\Delta S)_{cycle} = 0$

et $(\Delta U)_{cycle} = W + Q_f + Q_{ch}$

On en déduit :

$$W + Q_f + Q_{ch} = 0 \quad (A)$$

1°) Allures du cycle :

Diagramme de Clapeyron :

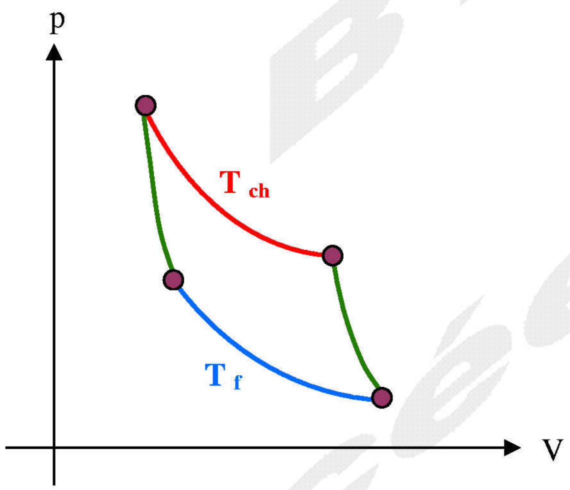
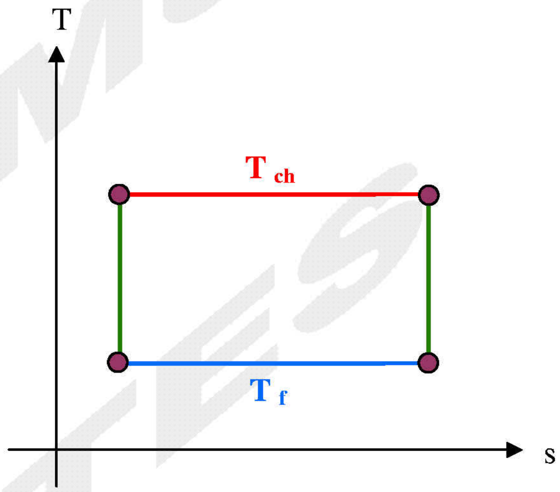


Diagramme entropique (T,s)



Dans ces deux diagramme, les cycles sont parcourus **dans le même sens**.

- Sens trigonométrique : Cycle récepteur
- Sens horaire : Cycle moteur

2°°) Relation entre les chaleurs et les températures :

Les échanges de chaleur ont lieu de façon isotherme de sorte que les variations d'entropie du fluide lors de ces évolutions s'écrivent respectivement : $\Delta S_{ch} = \dfrac{Q_{ch}}{T_{ch}}$ et $\Delta S_f = \dfrac{Q_f}{T_f}$.

D'autre part, on a : $(\Delta S)_{cycle} = 0$. On en déduit :

$$\frac{Q_{ch}}{T_{ch}} + \frac{Q_f}{T_f} = 0 \quad (B)$$

3°) Calcul du rendement (moteur) :

Un moteur thermique **reçoit** effectivement de la chaleur de la source chaude $(Q_{ch} > 0)$ et **fournit** de la chaleur à la source froide $(Q_f < 0)$. Il **fournit** du travail à l'extérieur $(W < 0)$.

Le rendement r d'un tel moteur s'écrit : $\eta = \frac{-W}{Q_{ch}}$ soit $\eta = \frac{Q_{ch} + Q_f}{Q_{ch}} = 1 + \frac{Q_f}{Q_{ch}}$

Si l'on tient compte de la relation (B), on écrit aussi : $\eta = 1 - \frac{T_f}{T_{ch}}$

4°) Calcul du « COP » (cycle récepteur):

a) Machine frigorifique :

Le fluide reçoit de la chaleur de la source froide $(Q_f > 0)$, fournit de la chaleur à la source chaude $(Q_{ch} < 0)$ et reçoit du travail de la part de l'extérieur $(W > 0)$.

On définit l'efficacité frigorifique e_F (« COP froid » de la machine) :

$e_F = \frac{Q_f}{W}$ soit : $e_F = \frac{Q_f}{W} = -\frac{Q_f}{Q_{ch} + Q_f}$

Remarque : En tenant compte de la relation (B), on a : $e_F = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$.

b°) Pompe à chaleur :

Le fluide reçoit de la chaleur de la source froide $(Q_f > 0)$, fournit de la chaleur à la source chaude $(Q_{ch} < 0)$ et reçoit du travail de la part de l'utilisateur $(W > 0)$.

On définit le coefficient de performance COP (noté parfois COP « chaud ») de la pompe :

$\mathrm{COP} = \frac{-Q_{ch}}{W}$ soit $\mathrm{COP} = \frac{-Q_{ch}}{W} = \frac{Q_{ch}}{Q_{ch} + Q_f}$

Remarque : En tenant compte de la relation (B), on a : $\mathrm{COP} = \frac{T_{ch}}{T_{ch} - T_f}$.

Remarque importante : Le rendement d'un cycle irréversible est toujours inférieur à celui d'un cycle réversible fonctionnant entre les mêmes températures.

Le cas particulier du gaz parfait est traité dans le fichier resum3.