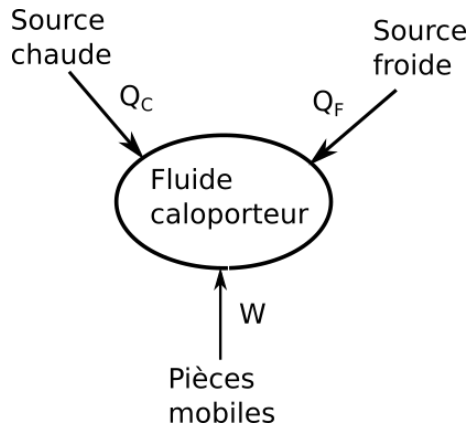


Machines thermiques

Les 3 machines dithermes

Une machine thermique ditherme assure une conversion d'énergie thermique $\leftrightarrow$ mécanique par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur en évolution cyclique.



Moteur thermique

$$Q_C > 0, Q_F < 0, W < 0$$

$$\text{Rendement } \eta = \frac{-W}{Q_C}$$

$$\text{Carnot } \eta_{max} = 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

Rendement réel autour de 30 %

Ordres de grandeur de puissance :

voiture à puissance max : 100 kW

Machine frigorifique

$$Q_C < 0, Q_F > 0, W > 0$$

$$\text{Efficacité } COP = \frac{Q_F}{W}$$

$$\text{Carnot, } COP_{max} = \frac{T_F}{T_C - T_F}$$

Efficacité réelle autour de 3

Ordre de grandeur de puissance :

Frigo de cuisine : 100 W

Pompe à chaleur

$$Q_C < 0, Q_F > 0, W > 0$$

$$\text{Efficacité } COP = -\frac{Q_C}{W}$$

$$\text{Carnot, } COP_{max} = \frac{T_C}{T_C - T_F}$$

Efficacité réelle autour de 3

Ordre de grandeur de puissance :

Chauffage 100 m² : 5 kW

Relation entre travail et puissance : $W = \mathcal{P}\Delta t$, où Δt est la durée d'un cycle.

Machines à piston à gaz parfait

Le fluide caloporteur est un gaz parfait contenu dans un piston de volume V variable. Pour chaque étape : $\Delta U = C_v \Delta T$ avec $C_v = \frac{nR}{\gamma-1}$.

$$W = W_{pression} = - \int_{V_I}^{V_F} P dV.$$

- Si transformation **isotherme** à T_0 : $W = -nRT_0 \ln \frac{V_F}{V_I}$
- Si transformation **isobare** : $W = -P\Delta V$. Le premier principe s'écrit alors $\Delta H = Q$.
- Si transformation **isochore** : $W = 0$.
- Si transformation **adiabatique réversible** : lois de Laplace $PV^\gamma = cte$, $TV^{\gamma-1} = cte$, $P^{1-\gamma}T^\gamma = cte$

Le cycle est représenté dans un diagramme de Watt P en fonction de V .

Machines à écoulements permanents

Au cours d'un cycle, le fluide s'écoule en régime stationnaire à travers différents éléments de machine, dans lesquels il subit d'éventuels changements d'état.

Le cas premier principe appliqué à 1 kg de fluide traversant s'écrit sous forme industrielle : $\Delta h = w_u + q$

On l'écrit aussi sous forme puissance : $D_m \Delta h = \mathcal{P}_u + \mathcal{P}_{th}$, avec D_m le débit massique.

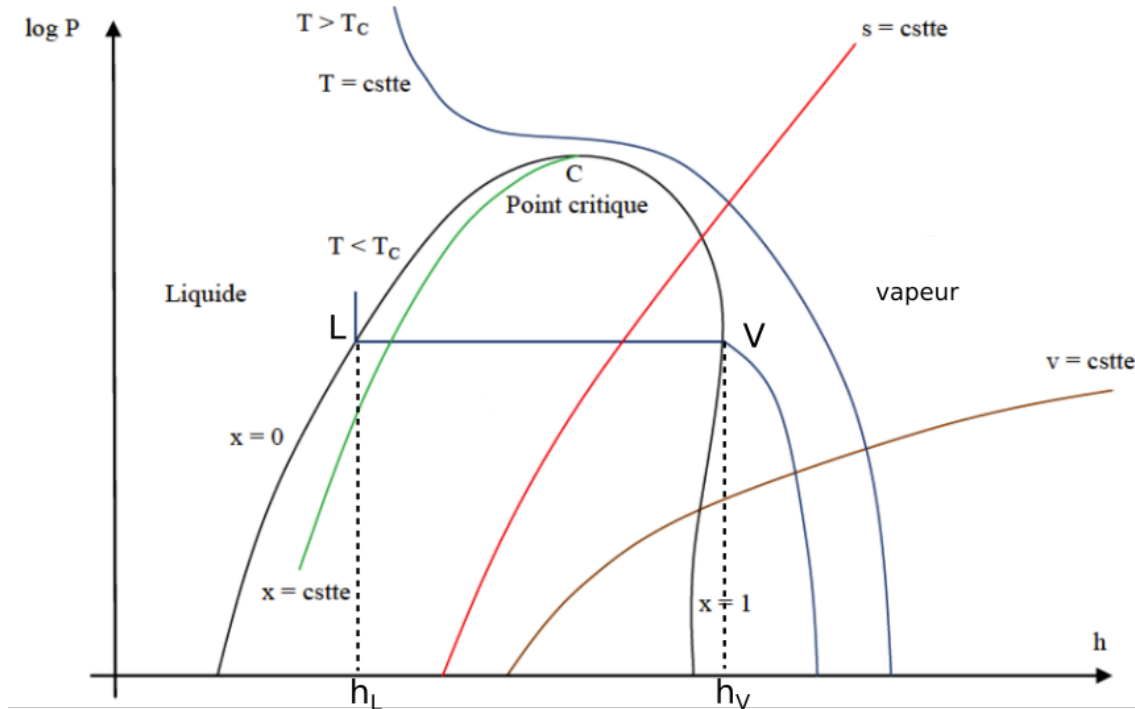
w_u représente le **travail utile**, dû au contact de pièces mécaniques mobiles avec le fluide (le travail des forces de pression d'entrée sortie n'en fait pas partie, il est déjà inclu dans Δh).

- Si le fluide est un gaz parfait : $\Delta h = c_p \Delta T$, avec $c_p = \frac{R\gamma}{M(\gamma-1)}$.
- Si le fluide est liquide pur : $\Delta h = c \Delta T$ avec c capacité thermique massique du fluide.

Exemples d'éléments et hypothèses simplificatrices courantes

- **compresseur** : q négligé car le fluide traverse vite.
- **échangeur thermique** : $w_u = 0$ car pas de paroi mobile.
- **détendeur** : $w_u = 0$, $q \approx 0$, on a donc $\Delta h = 0$.
- **chambre de combustion** : $w_u = 0$
- **tuyère** : $w_u = 0$, $q \approx 0$, on prend en compte la variation d'énergie cinétique massique $\Delta(h + \frac{v^2}{2}) = 0$.

Les transformations sont alors souvent représentées sur le **diagramme des frigorigènes** P en fonction de h .



Remarques :

Dans la zone diphasée, les isothermes et les isobares sont confondues : LV est un **palier de changement d'état**.

L est sur la **courbe d'ébullition**, V est sur la **courbe de rosée**.

$L \rightarrow V$ est une vaporisation, d'**enthalpie de vaporisation** $\Delta h_{vap} = h_V - h_L$

x désigne le titre en vapeur.

v désigne le volume massique, inverse de la masse volumique.

Pour une transformation **adiabatique et réversible**, on suit une courbe $s = \text{cte}$.

Dans la zone vapeur, loin de la zone diphasée, isothermes et isenthalpes sont confondues, verticales : l'enthalpie ne dépend que de la température, c'est la seconde loi de Joule, le modèle du gaz parfait est donc applicable dans cette zone.