

RAPPELS DE THERMODYNAMIQUE
(compléments sur la statique des fluides et les
machines thermiques)

I) DESCRIPTION DES FLUIDES :

1) Paramètres d'état :

un système fluide fermé peut être décrit par deux paramètres d'état : (T,V) ou (T,P) ou (P,V)

2) Statique des fluides :

pression dans un fluide (parfait ou non) en équilibre:

équation fondamentale de la statique des fluides : $f_v = grad(P)$

où f_v est la densité volumique de « force de volume » s'exerçant sur le système

cas particulier important où les seules forces de volume appliquées au fluide sont les forces de pesanteur (champ de pesanteur uniforme) :

* cas d'un liquide (incompressible) : $P = P_0 + \mu gz$ (z = profondeur)

* cas d'un gaz parfait (isotherme) : $P = P_0 \exp\left(-\frac{Mgz}{RT}\right)$ (z = altitude)

3) Propriétés thermoélastiques d'un fluide :

définitions :

coefficient de dilatabilité isobare : $\alpha = 1/V \cdot (\partial V / \partial T)_P$

coefficient de variation de pression isochore : $\beta = 1/P \cdot (\partial P / \partial T)_V$

coefficient de compressibilité isotherme : $\chi_T = -1/V \cdot (\partial V / \partial P)_T$

définition : on appelle équation d'état une équation liant différentes variables d'état décrivant un système thermodynamique

théorème : $\alpha = \beta \cdot \chi_T \cdot P$

remarque : généralisation à un système décrit par un nombre quelconque de variables reliées par une équation d'état

4) Remarque : coefficients de compressibilité isotherme et isentropique : formule de Reech :

si: $\chi_T = -1/V \cdot (\partial V / \partial P)_T$ = coefficient de compressibilité isotherme

$\chi_S = -1/V \cdot (\partial V / \partial P)_S$ = coefficient de compressibilité adiabatique

alors: $\chi_T / \chi_S = \gamma$ (formule de Reech)

II) MACHINES THERMIQUES :

1) Inégalité de Clausius :

a) dans une transformation où le système est en contact avec n sources de chaleur, recevant de la source qui est à la température T_i la quantité de chaleur Q_i , on a l'inégalité:

$$\Delta S \geq \sum_i (Q_i / T_i)$$

l'inégalité devient une égalité si, et seulement si la transformation est réversible

b) lorsqu'un système décrit un cycle en étant en contact, successivement, avec n sources de chaleur, recevant de la source qui est à la température T_i la quantité de chaleur Q_i , on a l'inégalité:

$$\sum_i Q_i / T_i \leq 0$$

l'inégalité devient une égalité si, et seulement si la transformation est réversible

généralisation : lorsqu'un système décrit un cycle en étant en contact, successivement, avec une infinité de sources de chaleur, de température T_s (variable selon la source de chaleur), on a l'inégalité:

$$\oint \delta Q / T_s \leq 0$$

l'inégalité devient une égalité si, et seulement si la transformation est réversible

2) Autres énoncés du second principe de la thermodynamique :

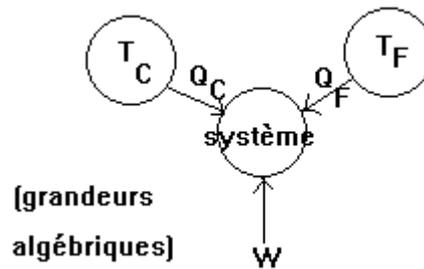
a) énoncé de Kelvin :

il n'existe pas de moteur fonctionnant de manière cyclique qui produise du travail à partir d'une seule source de chaleur

b) énoncé de Clausius :

il n'existe pas de processus dont le seul effet serait de faire passer de la chaleur d'une source froide à une source chaude

notations pour les machines cycliques dithermes :



3) Moteur ditherme :

définition : l'efficacité e d'un moteur est le rapport du travail que peut fournir le moteur au cours d'un cycle (« énergie dite valorisable ») : $|W| = -W$ à la chaleur que le système décrivant le cycle a dû effectivement recevoir de la part de la source chaude (« énergie dite coûteuse ») Q_C :

$$e = \frac{|W|}{Q_C} = -\frac{W}{Q_C}$$

définition : un cycle de Carnot est constitué par la succession de deux transformations isothermes réversibles (aux températures T_C et T_F des sources chaude et froide respectivement) séparées de deux transformations adiabatiques réversibles

théorème de Carnot :

1) l'efficacité d'un moteur thermique ditherme décrivant des cycles de Carnot (réversibles) est :

$$e_{Carnot} = 1 - \frac{T_F}{T_C} \quad (\text{efficacité dite de Carnot})$$

cette efficacité est indépendante du système thermodynamique qui évolue ; elle ne dépend que des températures des deux sources

2) l'efficacité de tout moteur thermique ditherme fonctionnant de façon irréversible est inférieure à l'efficacité du moteur de Carnot fonctionnant entre les deux mêmes sources

4) Réfrigérateur ditherme :

définition : l'efficacité e d'un réfrigérateur est le rapport de la chaleur que le réfrigérateur peut enlever à la source froide au cours d'un cycle (« énergie dite valorisable ») : Q_F au travail que le système décrivant le cycle a dû effectivement recevoir (« énergie dite coûteuse ») W :

$$e = \frac{Q_F}{W}$$

théorème :

1) l'efficacité d'un réfrigérateur thermique ditherme réversible est :

$$e_{Carnot} = \frac{T_F}{T_C - T_F} \quad (\text{efficacité dite de Carnot})$$

dite de Carnot)

cette efficacité est indépendante du système thermodynamique qui évolue ; elle ne dépend que des températures des deux sources

2) l'efficacité de tout réfrigérateur ditherme fonctionnant de façon irréversible est inférieure à l'efficacité du réfrigérateur ditherme réversible fonctionnant entre les deux mêmes sources

5) Pompe à chaleur ditherme :

définition : l'efficacité e d'une pompe à chaleur ditherme est le rapport de la chaleur que la pompe à chaleur peut fournir à la source chaude au cours d'un cycle (« énergie dite valorisable ») : Q_C au travail que le système décrivant le cycle a dû effectivement recevoir (« énergie dite coûteuse ») W :

$$e = \frac{|Q_C|}{W} = -\frac{Q_C}{W}$$

théorème :

1) l'efficacité d'une pompe à chaleur ditherme réversible est :
$$e_{Carnot} = \frac{T_C}{T_C - T_F} \quad ($$

efficacité dite de Carnot)

cette efficacité est indépendante du système thermodynamique qui évolue ; elle ne dépend que des températures des deux sources

2) l'efficacité de toute pompe à chaleur ditherme fonctionnant de façon irréversible est inférieure à l'efficacité de la pompe à chaleur ditherme réversible fonctionnant entre les deux mêmes sources