Chap 12 : Machines thermiques

I - 1er principe de la thermodynamique

Sys fermé, U f° d'état extensive

$$\left[\Delta(U + Ec_{macro} + Ep_{macro}) = W + Q\right]$$

$$\boxed{\Delta U = W + Q} \quad \boxed{dU = \delta W + \delta Q}$$

- pr fluide : $\boxed{\delta W_{pré} = -P_{ext}\, dV}$

  Reversible : $p = p_{ext}$

- à p° const : $\boxed{\Delta H = Q}$ (on utilise $H = U + pV$)

- Phase condensée

$$\begin{cases} dU = C(T)\, dT \\ dH = C(T)\, dT \end{cases}$$

et si C indpdt de T : $\Delta U = C\Delta T$

- GP : $pV = nRT$

$$\boxed{dU = C_V(T)\, dT = \frac{nR}{\gamma - 1} dT}$$

$$\boxed{dH = C_p(T)\, dT = \frac{\gamma}{\gamma - 1} nR\, dT}$$

- chgt de phase : la masse dm passe de la phase 1 à la phase 2, à la Temp T (donc p fixé)

$$\boxed{dH = dm\, \ell_{1\to 2}(T)}$$

↳ chal^{R} latente de chgt de phase (massiq)

$$\ell_{1\to 2} = h_2(T) - h_1(T)$$

- Ecoulemt

enthalpie massiq ; utile

$$\boxed{D_m \Delta(h + e_c + e_p) = P_{th} + P_{méca}}$$

$$\Delta(h + e_c + e_p) = q + w_u$$

II - 2nd principe de la thermodynamique

1) Enoncé

Sys fermé, S f° d'état extensive

$$\boxed{\Delta S = S_{éch} + S_{créée}}$$

$S_{créée} \geqslant 0$

$$\int_I^F \delta S_{éch} = \int_I^F \frac{\delta Q_{reçu}}{T_{ext}}$$

2) Propriétés

- $dU = \delta W_{rév} + \delta Q_{rév} = -p\,dV + \delta Q_{rév}$

or $dS = \frac{\delta Q_{rév}}{T}$ donc : $\boxed{dU = -p\,dV + T\,dS}$

et $\boxed{dH = V\,dp + T\,dS}$

- phase cond : $V = cst \Rightarrow dU = T\,dS$

donc $dS = \frac{dU}{T} = C(T)\frac{dT}{T}$

Si c est indpdt de T : $\boxed{\Delta S = C \ln\left(\frac{T_F}{T_I}\right)}$

- GP : $dU = \frac{nR}{\gamma - 1} dT$

or $dS = \frac{dU}{T} + \frac{p}{T} dV = \frac{nR}{\gamma - 1}\cdot\frac{dT}{T} + nR\frac{dV}{V}$

si γ est indpdt de T :

$$dS = d\left[\frac{nR}{\gamma - 1}\ln(T) + nR\ln(V)\right]$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta S_{GP} = \frac{nR}{\gamma - 1}\ln\left(\frac{T_F}{T_I}\right) + nR\ln\left(\frac{V_F}{V_I}\right)}$$

Idem avec dH :

$$\boxed{\Delta S_{GP} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} nR\ln\left(\frac{T_F}{T_I}\right) - nR\ln\left(\frac{P_F}{P_I}\right)}$$

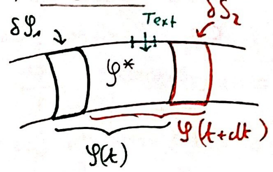
- Chgt d'état (de phase) à T fixé (donc p fixé)

$dH = T\,dS$ (p cst)

$$dS = \frac{dH}{T} = \frac{dm\, \ell_{1\to 2}(T)}{T}$$

$$\boxed{\Delta S = m\frac{\ell_{1\to 2}(T)}{T}}$$

3) Ecoulement



Sys fermé.

$$S_\Sigma(t+dt) - S_\Sigma(t) = \delta S_{éch} + \delta S_{créée}$$

$$\cancel{S_{\Sigma^*}(t+dt)} + \underbrace{S_{\delta S_2}}_{D_{m_2} dt\, s_2} - \cancel{S_{\Sigma^*}(t)} - \underbrace{S_{\delta \Sigma_1}}_{D_{m_1} dt\, s_1} = \delta S_{éch} + \delta S_{créée}$$

entropie massiq

Régime permanent

↳ $D_{m_1} = D_{m_2} = D_m$

$$D_m dt\,(s_2 - s_1) = \delta S_{éch} + \underbrace{\delta S_{créée}}_{\geqslant 0}$$

4) Cas particuliers

→ Isotherme : $T = cst$

$dU_{GP} = C_V(T)\, dT = 0$ $\qquad dU_{cond} = 0$

$dH_{GP} = 0$

→ Isobare : $p = cst$

$\Delta H = Q$ et $dS = \frac{dH}{T} = \frac{C_p\, dT}{T}$ si C indpdt de T $\Delta S = C_p \ln\left(\frac{T_F}{T_I}\right)$

$$\Delta S_{GP} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} nR\ln\left(\frac{T_F}{T_I}\right)$$

→ Isochore : $V = cst$

$\delta W = -p_{ext}\,dV = 0$ donc $\boxed{dU = \delta Q}$ ou $\Delta U = Q$

$dS_{GP} = \frac{dU_{GP}}{T} = \frac{nR}{\gamma-1}\frac{dT}{T}$

$\Delta S_{GP} = \frac{nR}{\gamma-1}\ln\left(\frac{T_F}{T_I}\right)$

→ Adiabatique : $\delta Q = 0$

$dU = \delta W = -p_{ext}\,dV$

→ adiab + Reversible ⇒ isentropiq

$dU = -p\,dV$ or $dU = -p\,dV + T\,dS$

⇒ $dS = 0$

Si isentropiq pr GP ⇒ $\boxed{\text{Loi de Laplace : } pV^{\gamma} = cst}$

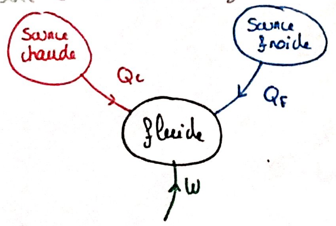
et $TV^{\gamma-1} = cst'$

$p^{1-\gamma}T^{\gamma} = cst''$

III - Machines thermiques

1) Machines ditherme (cycliq)

Un fluide fait des echanges d'é avec 2 sources et 1 sys méca



Les gd^R sont algébriques

⊙ 1er principe appliqué au fluide qui décrit des cycles :

$0 = \Delta U = W + Q_c + Q_F$ (1)
(U f° d'état)

//////	gd^R utile	autres gd^R	cop: coef de performence, rendemt, efficacité
moteur	$W < 0$	$Q_c > 0,\ Q_F < 0$	$R = \frac{-W}{Q_c}$
Réfrigérat^R	$Q_F > 0$	$W > 0,\ Q_c < 0$	$e = \frac{Q_F}{W}$
pompe à chal^R (PAC)	$Q_c < 0$	$W > 0,\ Q_F > 0$	$e = \frac{-Q_c}{W}$

⊙ 2e principe au fluide qui décrit des cycles :

$0 = \Delta S = S_{éch} + S_{créée}$

avec $S_{éch} = \int_I^F \frac{\delta Q_c}{T_c} + \int_I^F \frac{\delta Q_F}{T_F}$ (≥ 0)

Si T_c et T_F indpdt du tps :

$0 = \frac{1}{T_c}\int_I^F \delta Q_c + \frac{1}{T_F}\int_I^F \delta Q_F + S_{créée}$

$0 = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_F}{T_F} + \underset{\geq 0}{S_{créée}}$ (2)

Donc ⇒ $\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_F}{T_F} \leq 0$ (3)

⊙ Cas du Réfrigérat^R :

$e = \frac{Q_F}{W} \overset{(1)}{=} \frac{Q_F}{-Q_c - Q_F} = \frac{1}{-\frac{Q_c}{Q_F} - 1}$

$\frac{Q_c}{T_c} \overset{(3)}{\leq} -\frac{Q_F}{T_F}$ or $Q_F > 0$ et $T_c > 0$

donc $\frac{Q_c}{Q_F} \leq -\frac{T_c}{T_F}$ ⇒ $-\frac{Q_c}{Q_F} \geq \frac{T_c}{T_F}$

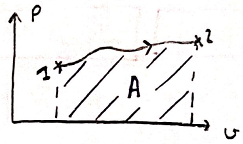
$-\frac{Q_c}{Q_F} - 1 \geq \frac{T_c}{T_F} - 1$

donc $e \leq \frac{1}{\frac{T_c}{T_F} - 1}$ ⇒ $\boxed{e_{max} = \frac{1}{\frac{T_c}{T_F} - 1}}$

Rq : Revoir le cycle de Carnot p(v) 2 isothermes + 2 isentropiq

2) Diagrammes

a) Diag de Clapeyron $p(v)$ ← volume massiq



$\delta W_{1\to2} = -p_{ext}\,dV$

$= -p\,dV$ (si quasi-statiq)

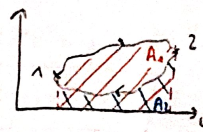
$W_{1\to2} = -\int p\,dV$

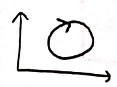
$= -A$ A: aire sous la courbe

• pr un cycle :

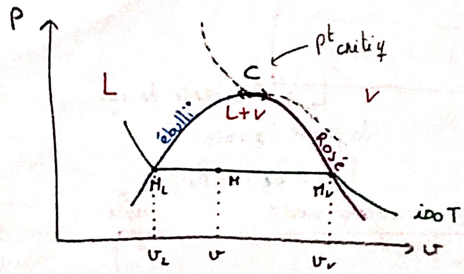
$W_{cycle} = W_{1\to2} + W_{2\to1}$

$= -A_1 + A_2$




$W < 0$: cycle moteur

• Equilibre entre 2 phases



Théorème de mmt chimiq.

x_v = frac° massiq de la vap

x_L = ———— du liquide : $x_L = 1 - x_v$

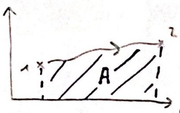
$v = x_v v_v + x_L v_L$
$= x_v v_v + (1 - x_v) v_L$

$$\boxed{x_v = \frac{v - v_L}{v_v - v_L} = \frac{M_L M}{M_L M_v}}$$

entropie massiq

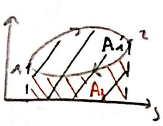
b) Diagramme $T(s)$

On est donc à p fixé => $dH = \delta Q$
$dh = \delta q_{rév}$
$TdS = \delta q_{rév}$



$q_{1\to 2} = \int_1^2 \delta q_{rév} = \int_1^2 TdS = A$

• Pr un cycle :

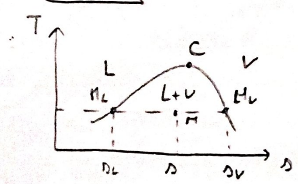


$q_{cycle} = q_{1\to 2} + q_{2\to 1}$
$= A_1 - A_2$ = aire cycle

$\boxed{↻ \quad w<0 \text{ : moteur}}$

Pour un cycle : $\Delta u = 0 = q_{cycle} + w_{cycle}$

L'entropie s mesure le désordre, donc $\boxed{s_v > s_L}$



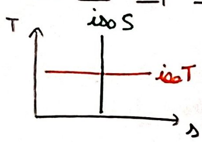
Th des mmt : $\boxed{x_v = \frac{M_L M}{M_v M_L}}$

$M_L M_v = s_v - s_L = \Delta s_{vaporisa°}$

$$\boxed{s_v(T) - s_L(T) = \frac{P_{vap}(T)}{T}}$$

Sur le pt critiq C : $P_{vap}(T) = 0$

• Courbes importantes :

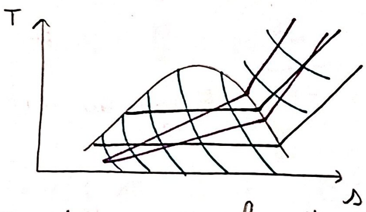


dans la partie centrale : isoT = isop

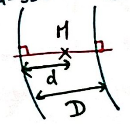
isobare : iso p : ———

isochore : iso V : ———

isenthalpes : h = cst : ———



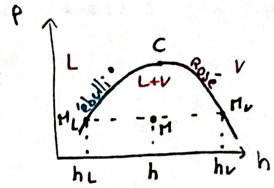
Pour trouver une valeur d'enthalpie h_M : $h_1 = 330$ $h_2 = 350$



$h_M = h_1 + \frac{d}{D}(h_2 - h_1)$

C) Diagramme de frigorités : p(h)

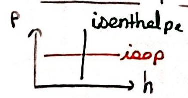
Rappel : écoulement $D_m \Delta(h + ec + ep) = P_{méca} + P_{th}$ svt



Th des mmt : $x_v = \frac{M_L M}{M_v M_L} = \frac{h - h_L}{h_v - h_L}$

Ds la partie centrale iso p = iso T

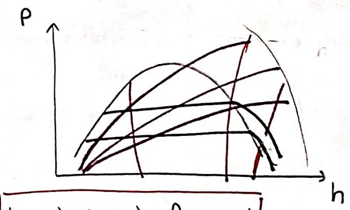
• Courbes importantes :



iso T : ———

iso chore : ———

isentrope : iso S : ———



$\boxed{h_v(T) - h_L(T) = P_{vap}(T)}$

3) Cmt utiliser les diagrammes ?

• On trace le diagramme en f° des consignes, et on le relit pour é sur ⚠ SUPER IMPORTANT

• On regard si le cycle est mot et si c'est cohérent.

• Rendement :

$$R = \frac{\text{ⓔ "utile"}}{\text{ⓔ dépensée coûteuse}}$$

• Rendem de carnot (⚠ cf pcsI !!

$R_{carnot} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$