

Thermodynamique = savoir faire ①
de base.

Exercice 1:

$(P_1, V_1, T_1) \xrightarrow{G.P.} (P_2, V_2, T_2)$

1- GP monoatomique:

$\Delta U = \frac{3}{2} nR (T_2 - T_1)$	$C_V = \frac{3}{2} nR$
$\Delta H = \frac{5}{2} nR (T_2 - T_1)$	$C_P = \frac{5}{2} nR$

GP diatomique:

$\Delta U = \frac{5}{2} nR (T_2 - T_1)$	$C_V = \frac{5}{2} nR$
$\Delta H = \frac{7}{2} nR (T_2 - T_1)$	$C_P = \frac{7}{2} nR$

2- D'après les relations de Mayer les capacités thermiques d'un GP à volume et pression constants sont t.q =

$$\left. \begin{array}{l} C_P - C_V = nR \\ \frac{C_P}{C_V} = \gamma \end{array} \right\} \text{d'où} \quad C_V = \frac{nR}{\gamma - 1} \quad C_P = \frac{\gamma nR}{\gamma - 1}$$

Par m kg de GP de masse molaire ②
 $M, n = \frac{m}{M}$

$\Delta U = \frac{nR}{\gamma - 1} (T_2 - T_1)$
$\Delta H = \frac{\gamma nR}{\gamma - 1} (T_2 - T_1)$

Rem: les capacités thermiques massiques à volume et pression constantes sont donc:

$$C_V = \frac{R}{M(\gamma - 1)} \quad C_P = \frac{\gamma R}{M(\gamma - 1)}$$

3- *Transformation isotherme:

$\Delta U = 0$ d'où $W = -Q$ d'après le 1^{er} principe.

$$\delta W = -P_{\text{ext}} dV$$

la transformation étant mécaniquement réversible, à tout instant, on peut considérer qu'il y a équilibre du gaz avec l'extérieur $\Rightarrow P_{\text{ext}} = P$

$$\delta W = -P dV$$

③

Comme la transformation est isotherme $P = \frac{nRT}{V}$.

d'où $\delta W = -nRT \frac{dV}{V}$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} -nRT \frac{dV}{V} = -nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$Q = -W = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

* Transformation isochore:

$\delta W = -P_{ext} dV = 0$ tout au long de la transformation donc

$$W = 0$$

$$Q = \Delta U = \frac{nR}{\gamma-1} (T_2 - T_1)$$

* Transformation isobare:

$$\delta W = -P dV$$

$$W = -P_1 (V_2 - V_1)$$

$$Q = \Delta H = \frac{n\gamma R}{\gamma-1} (T_2 - T_1)$$

* Adiabatique:

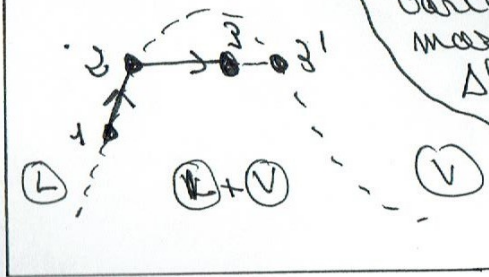
④

$$Q = 0$$

$$W = \Delta U = \frac{nR}{(\gamma-1)} (T_2 - T_1)$$

Exercice 2:

1 - 2



Rappel: lors d'une vaporisation à $T = \text{cste}$ (donc $p = \text{cste}$) la variation d'enthalpie massique vaut $\Delta h = (h_f - h_i)_{\text{vap}}$
 x_i et x_f sont les masses initiale et finale dans les états initial et final

1 $\rightarrow$ 2 passage de T_1 à T_{vap}
 2 $\rightarrow$ 3 vaporisation partielle à température et pression constantes.

2 $\Rightarrow \Delta H = \Delta H_L + \Delta H_V$ car H est une fonction d'état extensive.

1 $\rightarrow$ 2 liquide passant de T_1 à T_{vap}
 d'où $\Delta H_L = m c (T_{\text{vap}} - T_1)$

2 $\rightarrow$ 3 vaporisation à $T = T_{\text{vap}}$ de $m x$ kg de liquide $x_f = x$

$$\Delta H_V = m x \Delta h_{\text{vap}} = Q_{23} \quad x_i = 0$$

$$\Delta H = m c (T_{\text{vap}} - T_1) + m x \Delta h_{\text{vap}}$$

$$\Delta S = \Delta S_L + \Delta S_V \quad (6)$$

$$\Delta S_L = m c \ln\left(\frac{T_{\text{vap}}}{T_1}\right)$$

$$\Delta S_V = \frac{Q_{23}}{T_{\text{vap}}} \quad \text{car d'état réversible à température cste} = T_{\text{vap}}$$

$$\Delta S_V = m x \frac{\Delta h_{\text{vap}}}{T_{\text{vap}}}$$

$$\Delta S = m c \ln\left(\frac{T_{\text{vap}}}{T_1}\right) + m x \frac{\Delta h_{\text{vap}}}{T_{\text{vap}}}$$

3 - On connaît les enthalpies massiques des points 2 et 3'.

À un point 3, le syst. est composé de $m(1-x)$ kg de liquide (1 kg de liq a pour enthalpie h_{liq}) et $m x$ kg de vapeur (1 kg de vapeur a pour enthalpie h_{vap}).

$$h_3 = m(1-x) h_{\text{liq}} + m x h_{\text{vap}}$$

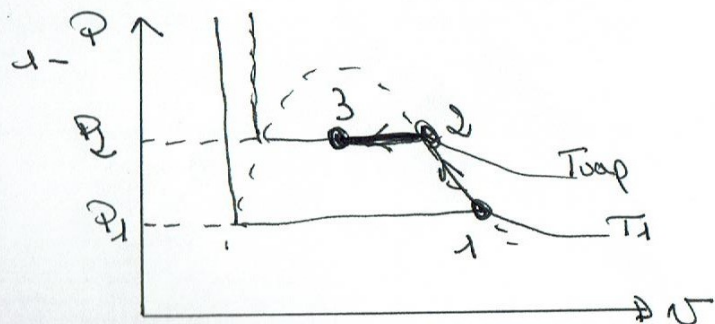
$$h_2 = m h_{\text{liq}}$$

$$\Delta H_{23} = m x (h_{\text{vap}} - h_{\text{liq}}) \quad h_{\text{vap}} - h_{\text{liq}} = \Delta h_{\text{vap}}$$

$$\Delta H = m c (T_{\text{vap}} - T_1) + m x (h_{\text{vap}} - h_{\text{liq}})$$

$$\Delta S = m c \ln\left(\frac{T_{\text{vap}}}{T_1}\right) + m x \frac{(h_{\text{vap}} - h_{\text{liq}})}{T_{\text{vap}}}$$

Exercice 3:



$$2 \rightarrow \Delta H = \Delta H_{12} + \Delta H_{23}$$

1 $\rightarrow$ 2 GP passant de T_1 à T_{vap}

$$\Delta H_{12} = m c_p (T_{vap} - T_1) = \frac{m \gamma R}{M(\gamma - 1)} (T_{vap} - T_1)$$

2 $\rightarrow$ 3 liquéfaction à T_{vap} de $m(1-x)$ kg de vapeur

$$\begin{aligned} \Delta H_{23} &= m(x-1) \Delta u_{vap} & x_f &= x \\ &= -m(1-x) \Delta u_{vap} & x_i &= 1 \end{aligned}$$

$$\Delta H = \frac{m \gamma R}{M(\gamma - 1)} (T_{vap} - T_1) - m(1-x) \Delta u_{vap}$$

$$\rightarrow \Delta S = \Delta S_{12} + \Delta S_{23}$$

$$\Delta S_{12} = \frac{m \gamma R}{M(\gamma - 1)} \ln\left(\frac{T_{vap}}{T_1}\right) + \frac{m R}{M} \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

⑦

$$\Delta S_{23} = m(x-1) \frac{\Delta u_{vap}}{T_{vap}} \quad \text{⑧}$$

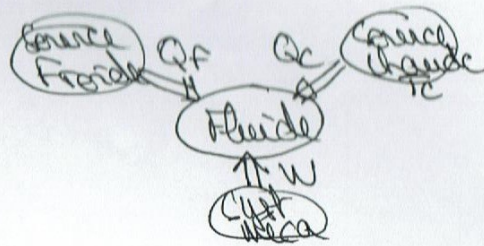
$$\Delta S = \frac{m \gamma R}{M(\gamma - 1)} \ln\left(\frac{T_{vap}}{T_1}\right) - \frac{m R}{M} \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) + m(x-1) \frac{\Delta u_{vap}}{T_{vap}}$$

3 - De même que dans l'ex2.

$$\Delta H_{23} = m(x-1)(h_{vap} - h_{liq})$$

$$\Delta S_{23} = m(x-1) \frac{h_{vap} - h_{liq}}{T_{vap}}$$

Exercice 4 :



Sur un cycle on a :

$$\Delta U = W + Q_C + Q_F = 0$$

$$\Delta S = \frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} = 0$$

1 - Moteur :

Fournit du travail mécanique à l'extérieur : $W < 0$

Reçoit de l'énergie thermique de la part de la source chaude : $Q_C > 0$

Fournit de l'énergie thermique à la source froide $Q_F < 0$

Rendement = $\frac{\text{ce que l'on veut}}{\text{ce que cela coûte}}$

$$\eta = \frac{-W}{Q_C} = \frac{Q_C + Q_F}{Q_C} = 1 + \frac{Q_F}{Q_C}$$

$$\boxed{\eta = 1 - \frac{T_F}{T_C}} < 1$$

⑨

2 - Pompe à chaleur

⑩

Fournit de l'énergie thermique à la source chaude $Q_C > 0$

Reçoit du travail mécanique $W > 0$ et de l'énergie thermique de la part de la source froide $Q_F > 0$

$$e = \frac{-Q_C}{W} = \frac{Q_C}{Q_C + Q_F} = \frac{1}{1 + \frac{Q_F}{Q_C}}$$

$$\boxed{e = \frac{1}{1 - \frac{T_F}{T_C}} = \frac{T_C}{T_C - T_F}} \quad e > 1$$

3 - Réfrigérateur :

Prélève de l'énergie thermique à la source froide $Q_F > 0$

Reçoit du travail mécanique $W > 0$ et fournit de l'énergie thermique à la source chaude.

$$e = \frac{Q_F}{W} = -\frac{Q_F}{Q_F + Q_C} = \frac{-1}{1 + \frac{Q_C}{Q_F}}$$

$$\boxed{e = \frac{-1}{1 - \frac{T_C}{T_F}} = \frac{T_F}{T_C - T_F}}$$