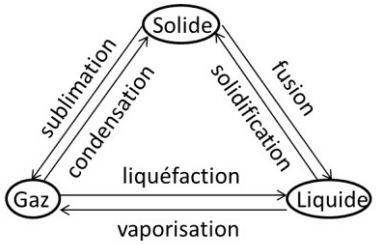
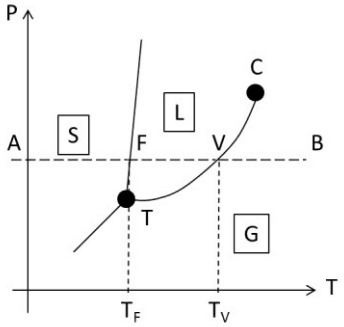
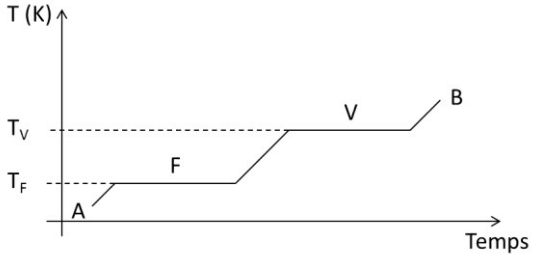
Diagrammes d'état des fluides réels purs

Etats physiques d'un corps pur et Diagramme de phases (P, T)







Enthalpie de changement d'état

$\Delta H_{12}(T_{12})$: **enthalpie de changement d'état** = énergie thermique que le corps pur de masse m peut emmagasiner ou restituer lors d'un changement d'état :

$\Delta H_{12}(T_{12}) = m \times l_{12}(T_{12}) = m \times \Delta h_{12}(T_{12})$ avec $l_{12}(T_{12}) = \Delta h_{12}(T_{12})$, **l'enthalpie massique de changement d'état.**

Ordres de grandeurs : Enthalpies massiques de vaporisation :

- pour l'eau sous pression $P = 10^5 Pa$: $l_v(373) = 2660 kJ.kg^{-1}$ sous $T = 373K$
- pour un fluide utilisé dans une machine frigorifique : $l_v(373) \approx 170 kJ.kg^{-1}$

Entropie de changement d'état

L'entropie massique de changement d'état, $\Delta s_{12}(T_{12})$, est reliée à l'enthalpie massique de changement d'état par :

$$\boxed{\Delta s_{12}(T_{12}) = \frac{\Delta h_{12}(T_{12})}{T_{12}}}$$

Vaporisation, Fusion, Sublimation : entropie et enthalpie massique de changement d'état positives. Ces trois transitions demandent donc un apport de chaleur.

Titre massique en vapeur et règle des moments

L'état du corps pur est défini par deux paramètres intensifs : - la pression, P_c, ou la température, T_c

- la proportion de masse de vapeur, m_v.

On définit le **taux de vapeur** ou **titre massique en vapeur**, x , par : $\boxed{x = \frac{m_v}{m} = \frac{m_v}{m_v + m_l}}$

$$v(T_c, x) = v_l(T_c) + \big(v_v(T_c) - v_l(T_c)\big)x$$

Alors :

$$\boxed{h(T_c, x) = h_l(T_c) + \big(h_v(T_c) - h_l(T_c)\big)x}$$

$$\boxed{s(T_c, x) = s_l(T_c) + \big(s_v(T_c) - s_l(T_c)\big)x}$$

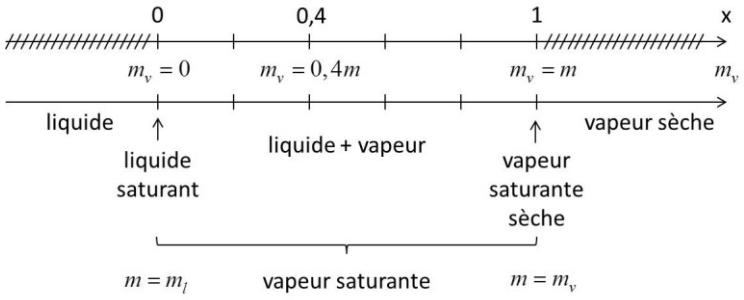
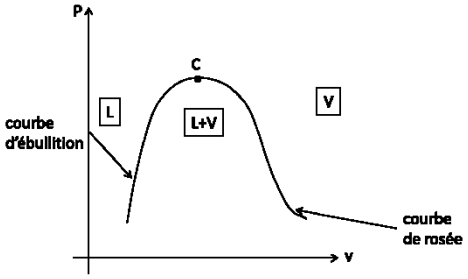


Diagramme de Clapeyron (P,v)

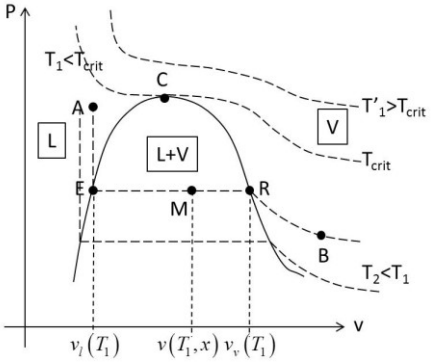
Trois zones peuvent être distinguées qui sont séparées par les courbes de rosée et d'ébullition :
- la zone de liquide seul
- la zone d'équilibre liquide-vapeur
- la zone de vapeur sèche

Le point critique, C, se trouve à la jonction entre les courbes de rosée et d'ébullition.

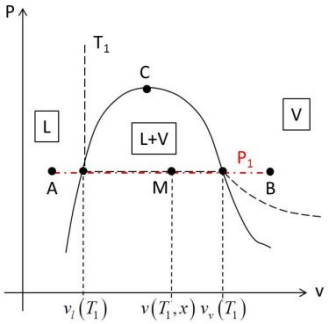


Isothermes :
Si $T_1 < T_{crit}$:
- *Phase liquide* : droite verticale
- *Système diphasé* : droite horizontale
= palier de saturation ou de changement d'état
- *Phase vapeur* : hyperbole ($P = \frac{RT}{Mv}$)

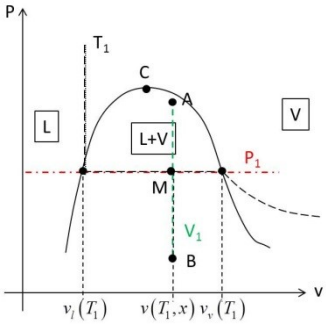
Règle des segments : $x = \frac{v(T_c,x)-v_l(T_c)}{v_v(T_c)-v_l(T_c)} = \frac{EM}{ER}$



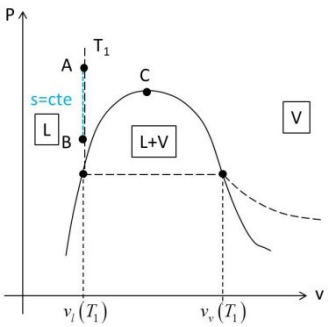
Isobares : droite horizontale



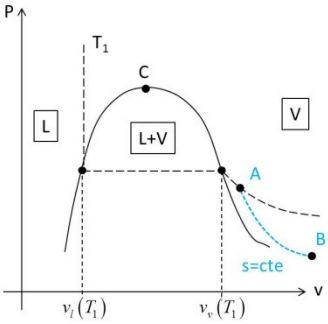
Isochores : droite verticale



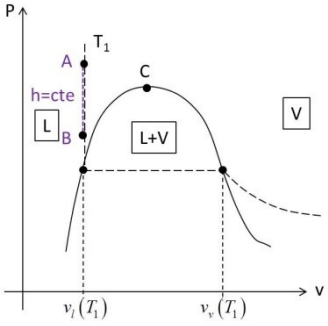
Isentropiques :
- *Phase liquide* : $ds = c\frac{dT}{T}$ = isotherme



- *Phase vapeur* : $Pv^{\gamma} = cte$: hyperbole de pente supérieure à celle d'une isotherme.



Isenthalpes :
- *Phase liquide* : $dh = cdT$ = isotherme



- *Phase vapeur* : $dh = c_P dT$ = isotherme.

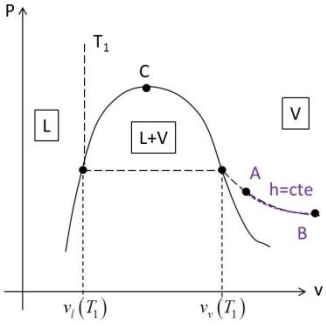
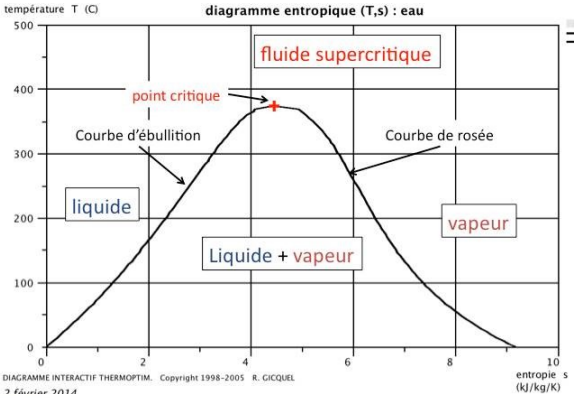


Diagramme entropique (T,s)

Trois zones peuvent être distinguées qui sont séparées par les courbes de rosée et d'ébullition :
- la zone de liquide seul
- la zone d'équilibre liquide-vapeur
- la zone de vapeur sèche

Le point critique se trouve à la jonction entre les courbes de rosée et d'ébullition.



Isobares :

Si $P_1 < P_{crit}$:

- *Phase liquide* : exponentielle

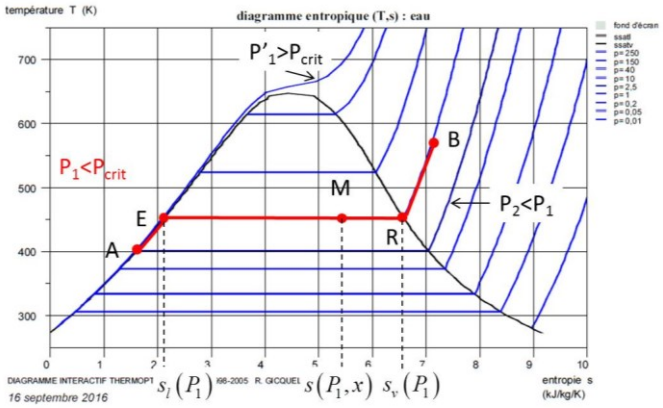
$ds = c\frac{dT}{T} \quad \Rightarrow \quad T_E = T_A\, exp\left(\frac{\Delta s}{c}\right)$

- *Système diphasé* : droite horizontale = palier de saturation

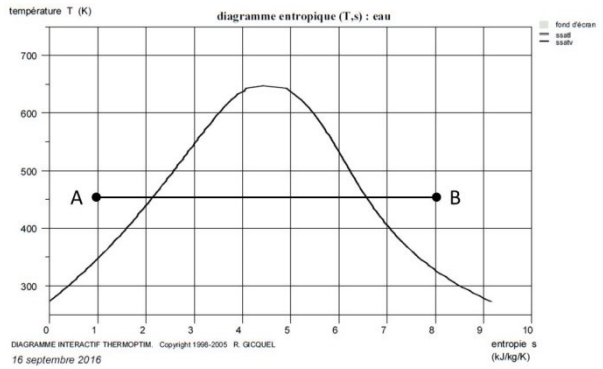
- *Phase vapeur* : exponentielle

$dh = Tds + vdP \quad \Rightarrow \quad ds = c_P\frac{dT}{T}$

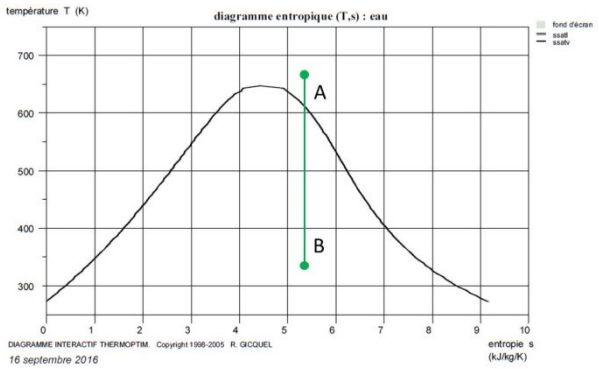
Règle des segments : $x = \frac{s(T_c,x)-s_l(T_c)}{s_v(T_c)-s_l(T_c)} = \frac{EM}{ER}$



Isothermes : droite horizontale



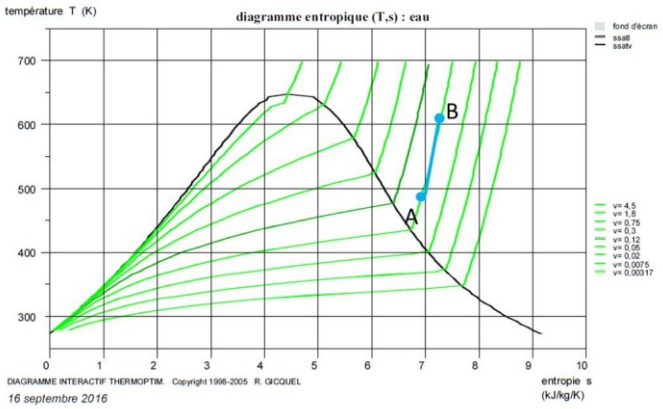
Isentropiques : droite verticale

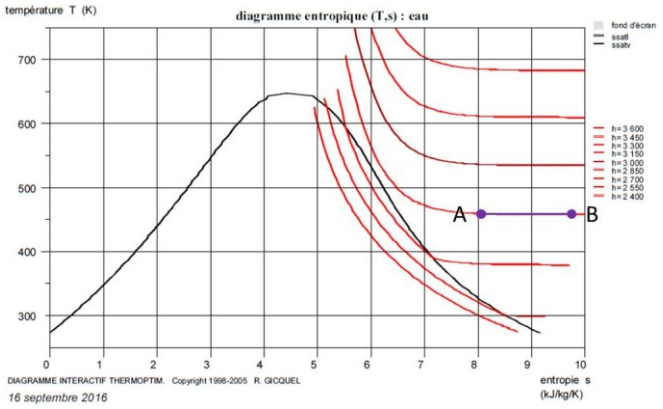


Isochores :

- *Phase vapeur* : exponentielle

$du = Tds - Pdv \quad \Rightarrow \quad ds = c_V\frac{dT}{T}$



Isenthalpes :

- *Phase vapeur* : $dh = c_P dT$ = isotherme