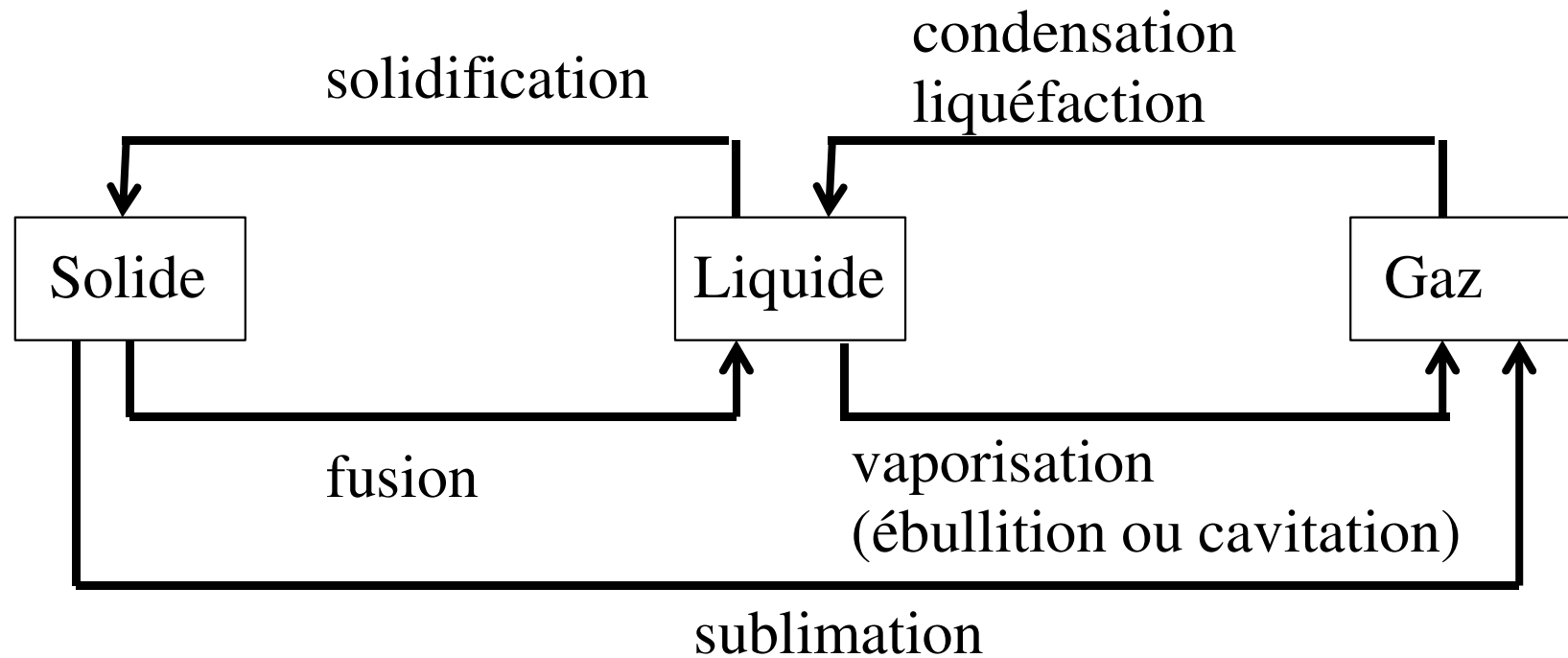


Introduction aux transitions de phase

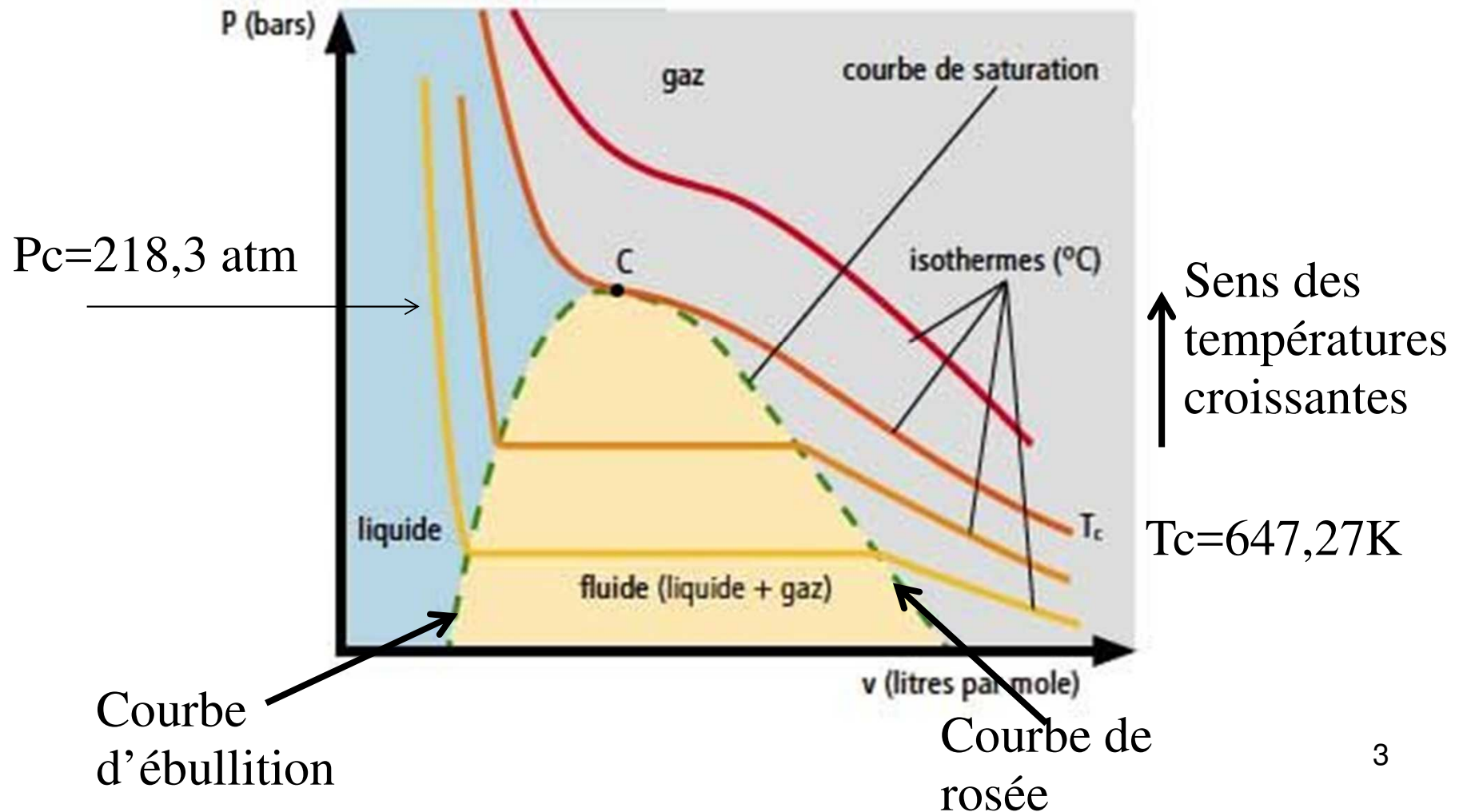
Richard Saurel

Trois formes de matière (ou phases) existent dans la nature: état solide, état liquide et l'état gazeux.

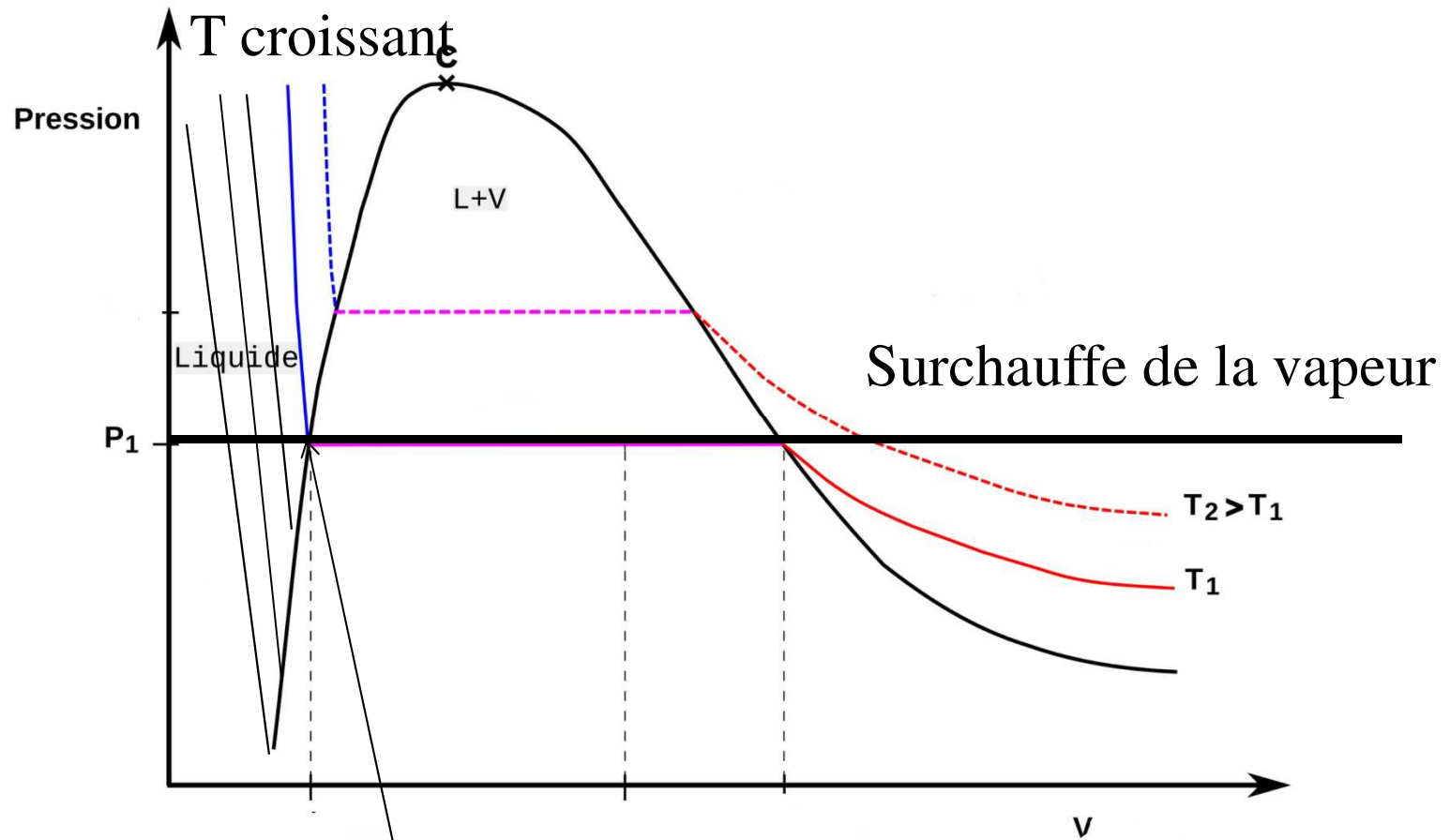
En faisant varier la température, la pression ou le volume d'un matériau, celui-ci peut changer de phase.



Allure des isothermes dans le plan (P,v)

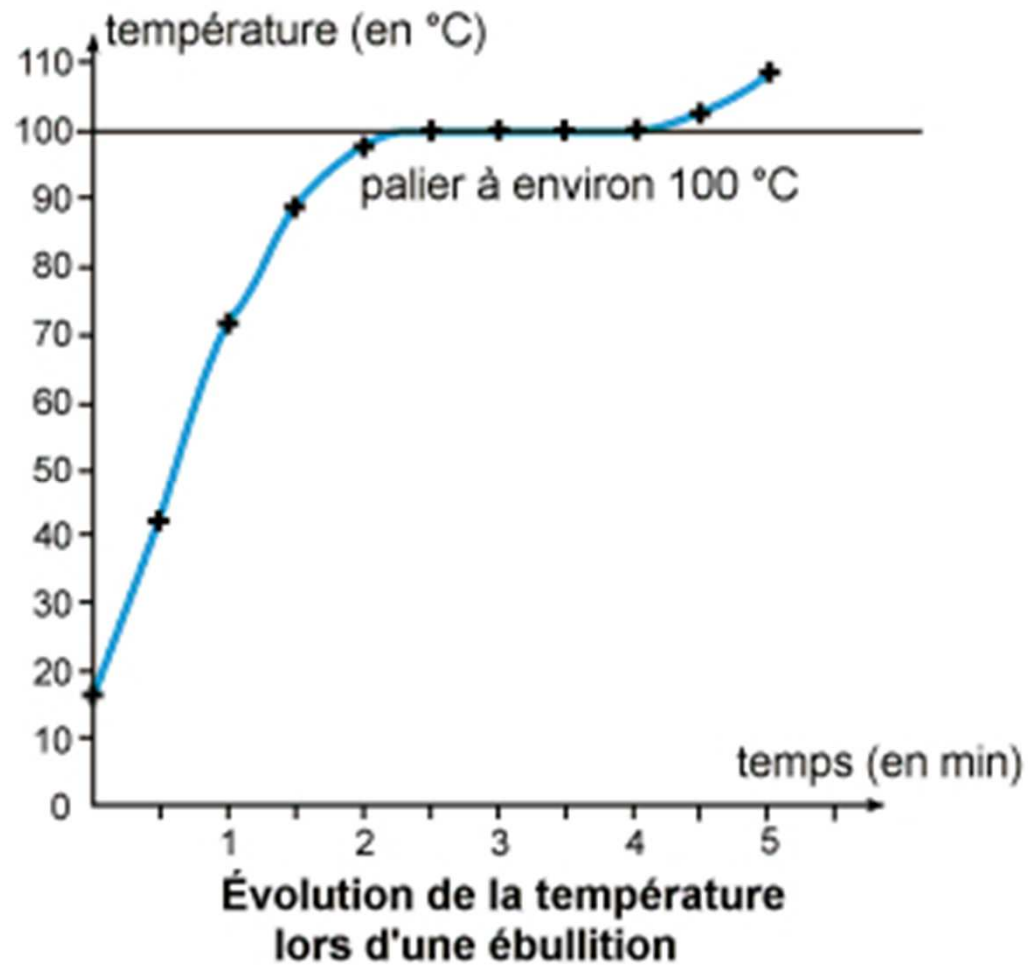


Ebullition à pression constante

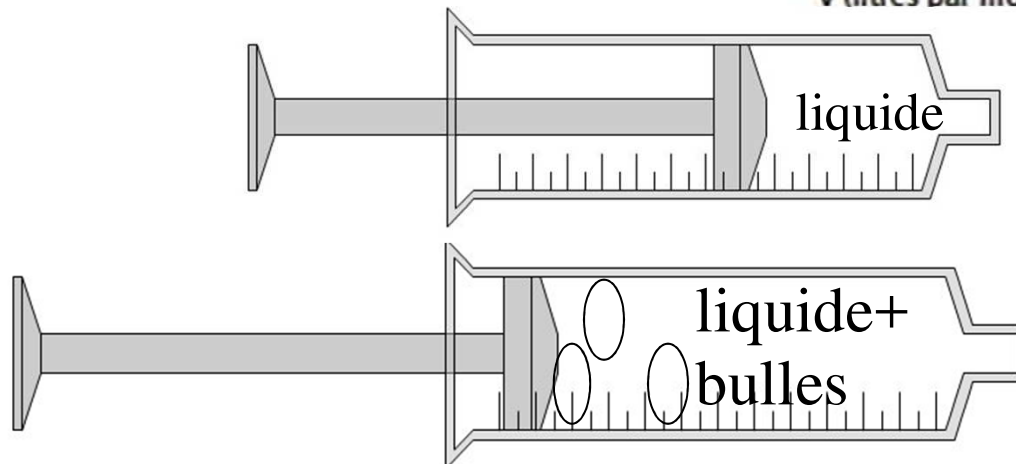
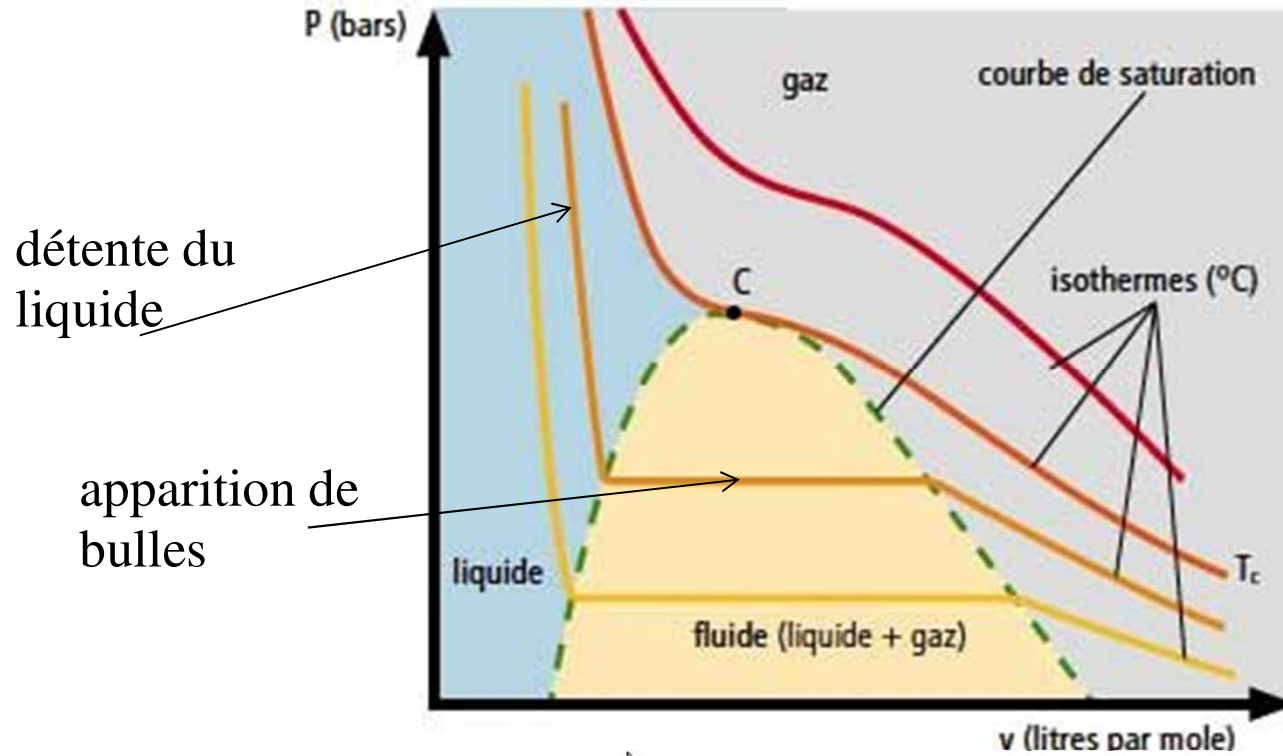


Isotherme $T = T_{\text{sat}}(P)$
(373K pour $p = 1 \text{ atm}$)

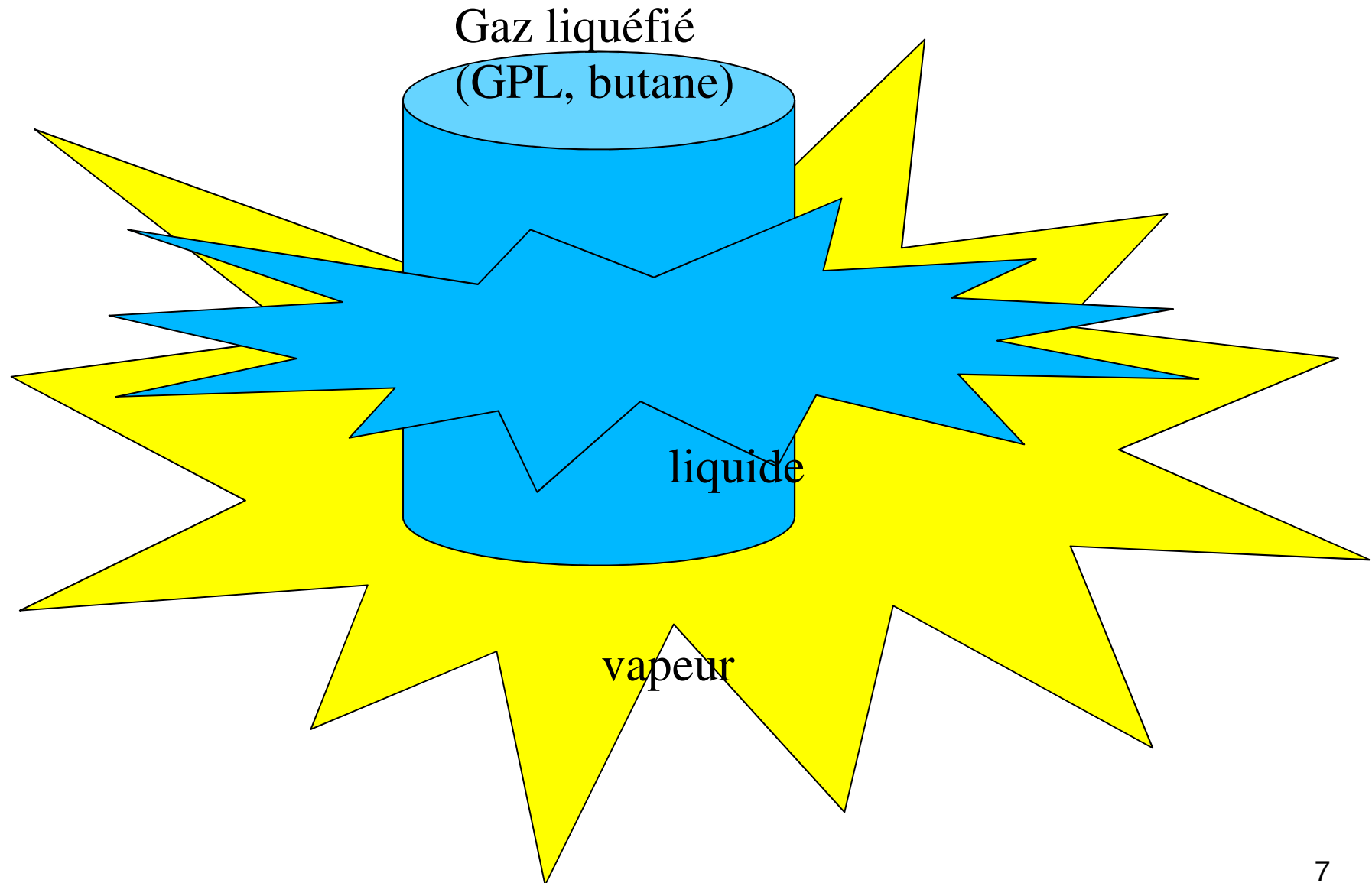
Courbe caractéristique: Chauffage d'une masse d'eau à pression constante et flux de chaleur constant



Cavitation ?

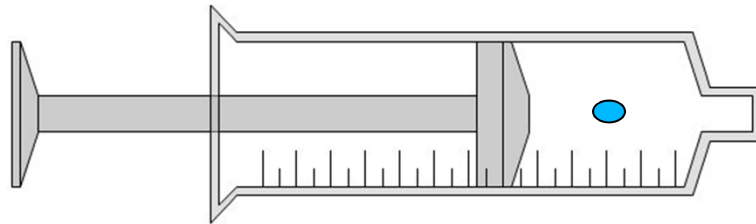


Autre exemple: évaporation 'flash'



Etude d'une transformation caractéristique

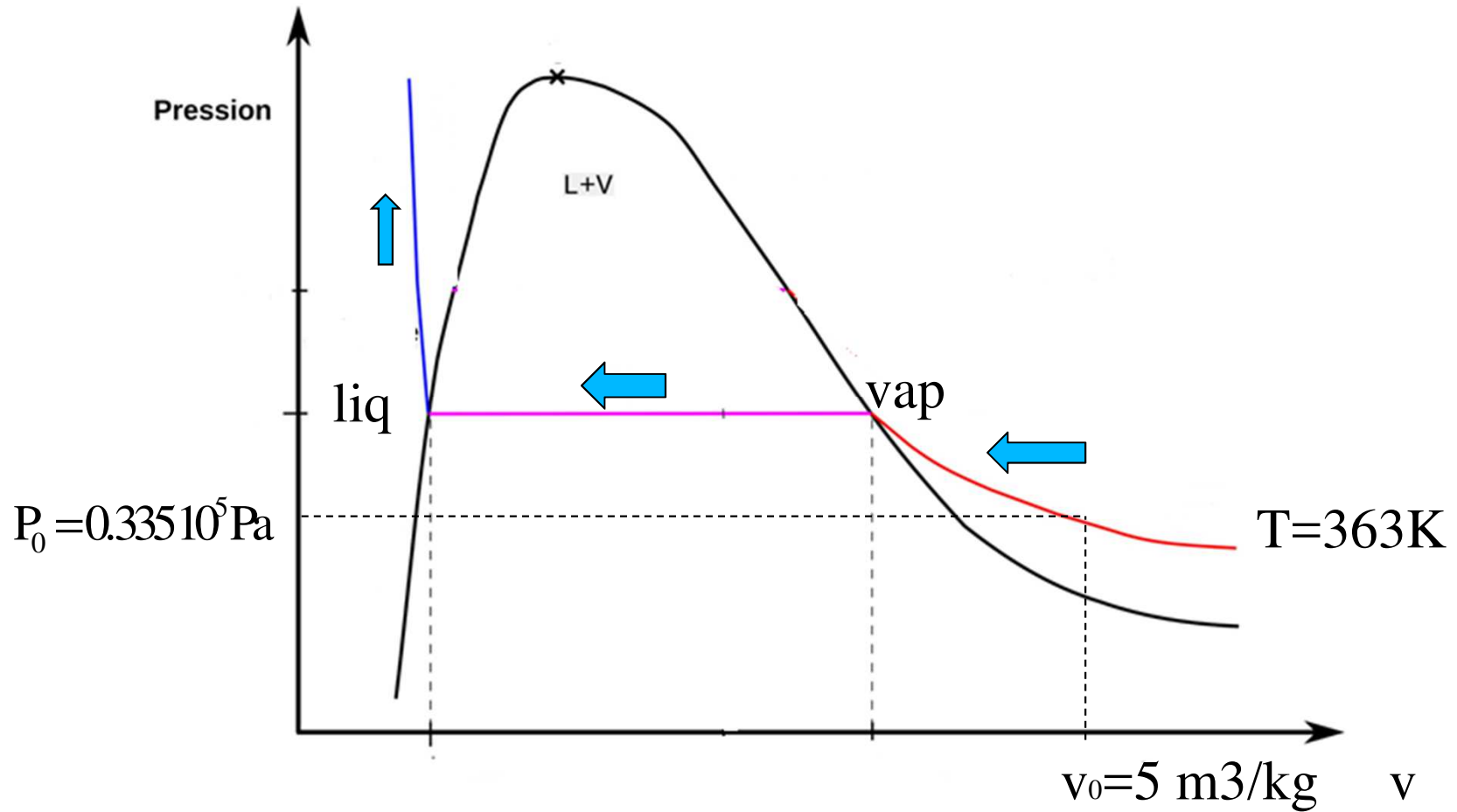
Introduisons une masse $m=1\text{g}$ d'eau à la température $T=90^\circ\text{C}=363\text{K}$ dans un corps de pompe vide, de volume $V=5$ litres, placé dans un bain à $T=\text{cste}$.



Comme le vide a préalablement été fait, l'eau se vaporise immédiatement et la vapeur remplit le volume. Quelle est la pression après évaporation ?

$$PV=n\hat{R}T \quad n=\frac{m}{\hat{M}}=\frac{1\text{g}}{18\text{g}}=\frac{1}{18}\text{mole} \quad v=\frac{5\cdot 10^{-3}\text{m}^3}{10^{-3}\text{kg}}=5\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$
$$P=\frac{1}{18}\frac{8.314\times 363}{5\cdot 10^{-3}}=0.335\cdot 10^5\text{Pa}$$

Compression isotherme



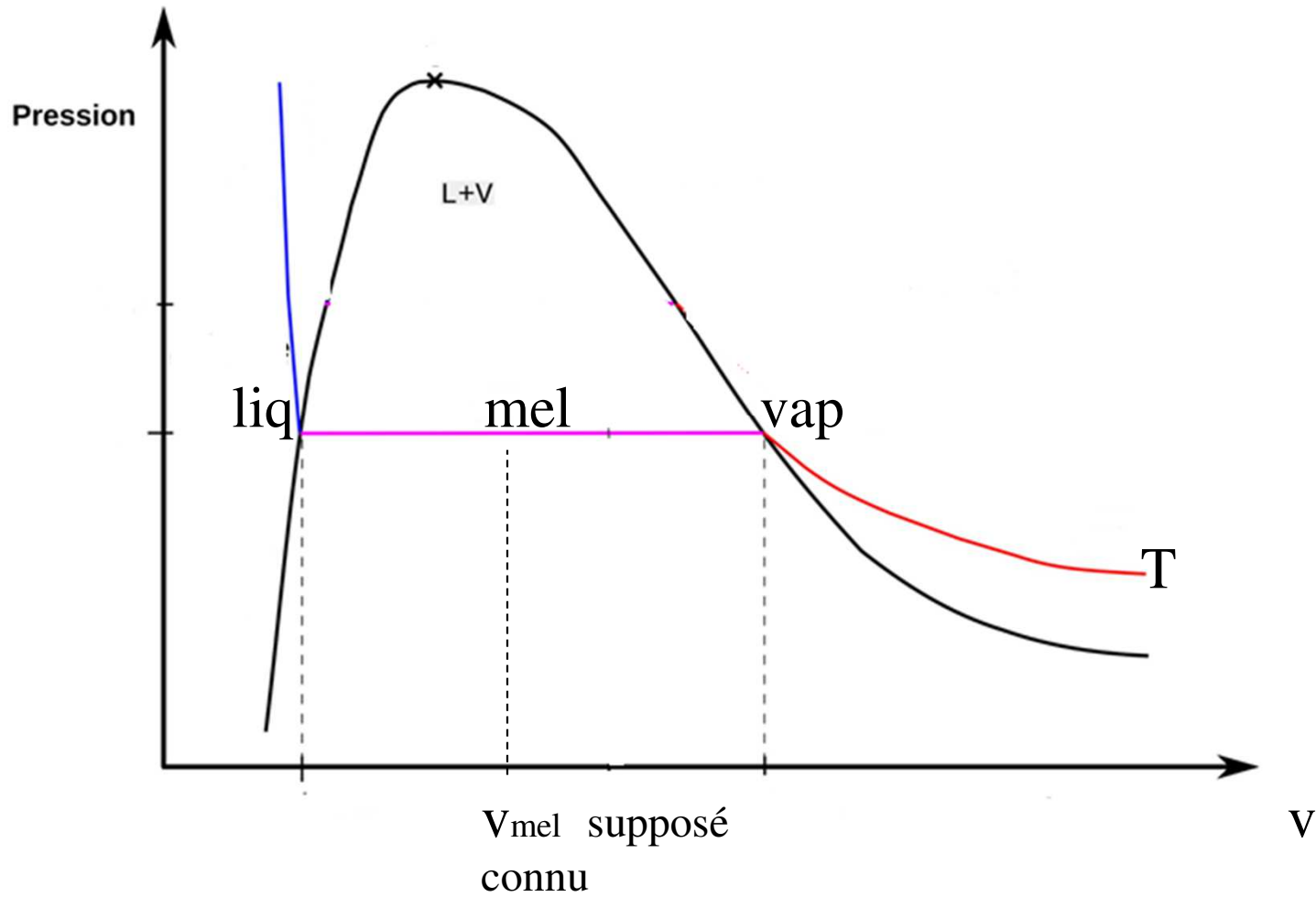
Comprimons la vapeur.

La pression augmente jusqu'au point 'vap' ($P_{\text{vap}} = 0,69 \text{ atm}$, $v_{\text{vap}} = 2,4 \text{ m}^3/\text{kg}$)

- A partir du point 'vap', en maintenant la température constante, la pression reste constante jusqu'au point 'liq'.
- Un germe de liquide apparait dans le corps de pompe à partir du point 'vap' et grossit lentement jusqu'au point 'liq'.
- En ce point, la goutte initiale est reformée
($v_l = 1 \text{ ml} / 10^{-3} \text{ kg} = 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{kg}$)
- En pressant encore sur le piston, la pression augmente verticalement: le liquide est peu compressible.

- Tant que le volume spécifique v reste compris entre v_{liq} et v_{vap} , la pression reste constante.
- Cette pression est précisément la pression de saturation à la température T .

Calcul de l'état d'un point à l'intérieur du dôme de saturation



Le long des courbes de saturation...

les variables des fluides v_g , v_l , h_g , h_l ... ne dépendent que de T .

En effet, $v_g = v_g(T, P)$ mais $P = P_{\text{sat}}(T)$

Donc, $v_g = v_{g\text{sat}}(T)$.

De même: $v_l = v_{l\text{sat}}(T)$,

$$h_g = h_{g\text{sat}}(T), \quad h_l = h_{l\text{sat}}(T),$$

$$s_g = s_{g\text{sat}}(T), \quad s_l = s_{l\text{sat}}(T).$$

Ces fonctions sont déterminées expérimentalement pour chaque couple liquide-vapeur ou déduite des équations d'état dès que $P_{\text{sat}}(T)$ est connue.

Au point 'mel'...

on a un mélange de liquide et de vapeur. Mais en quelles proportions?

On suppose que la température $T=T^*$ est connue (et donc la pression $P=P_{\text{sat}}(T^*)$).

Par ailleurs,

$$V_{\text{mel}} = V_{\text{liq}} + V_{\text{vap}}$$

$$M_{\text{mel}} = M_{\text{liq}} + M_{\text{vap}}$$

Mais,

$$V_{\text{mel}} = M_{\text{mel}} v_{\text{mel}}$$

$$V_{\text{liq}} = M_{\text{liq}} v_{\text{liq}}$$

$$V_{\text{vap}} = M_{\text{vap}} v_{\text{vap}}$$

On en déduit,

$$V_{\text{mel}} = V_{\text{liq}} + V_{\text{vap}}$$

$$M_{\text{mel}} V_{\text{mel}} = M_{\text{liq}} V_{\text{liq}} + M_{\text{vap}} V_{\text{vap}}$$

$$V_{\text{mel}} = \frac{M_{\text{liq}}}{M_{\text{mel}}} V_{\text{liq}} + \frac{M_{\text{vap}}}{M_{\text{mel}}} V_{\text{vap}}$$

On note $Y_{\text{vap}} = \frac{M_{\text{vap}}}{M_{\text{mel}}}$ la fraction massique de vapeur (ou titre de vapeur).

$$Y_{\text{vap}} + Y_{\text{liq}} = \frac{M_{\text{vap}}}{M_{\text{mel}}} + \frac{M_{\text{liq}}}{M_{\text{mel}}} = 1$$

Donc, $V_{\text{mel}} = Y_{\text{liq}} V_{\text{liq}} + Y_{\text{vap}} V_{\text{vap}} = (1 - Y_{\text{vap}}) V_{\text{liq}} + Y_{\text{vap}} V_{\text{vap}}$

Et donc,

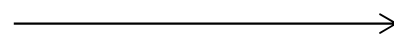
$$Y_{\text{vap}} = \frac{V_{\text{mel}} - V_{\text{liq,sat}}(T^*)}{V_{\text{vap,sat}}(T^*) - V_{\text{liq,sat}}(T^*)}$$

Si on connaît l'enthalpie du mélange
(au lieu du volume spécifique)

$$H_{\text{mel}} = H_{\text{liq}} + H_{\text{vap}}$$

$$M_{\text{mel}} h_{\text{mel}} = M_{\text{liq}} h_{\text{liq}} + M_{\text{vap}} h_{\text{vap}}$$

$$h_{\text{mel}} = Y_{\text{liq}} h_{\text{liq}} + Y_{\text{vap}} h_{\text{vap}}$$



$$Y_{\text{vap}} = \frac{h_{\text{mel}} - h_{\text{liq,sat}}(T^*)}{h_{\text{vap,sat}}(T^*) - h_{\text{liq,sat}}(T^*)}$$

On note $\Delta h_{\text{reaction}} = h_{\text{vap,sat}}(T^*) - h_{\text{liq,sat}}(T^*) = L_v(T) > 0$ $L \rightarrow V$

$$Y_{\text{vap}} = \frac{h_{\text{mel}} - h_{\text{liq,sat}}(T^*)}{L_v(T^*)}$$

chaleur latente
de vaporisation