Leçon : Transition de phase

Gabriel Le Doudic

Préparation à l'agrégation de Rennes

21 mai 2024

Niveau : CPGE
Prérequis : notion de système et d'equilibre thermodynamique
: transformations classiques en thermodynamique
: premier et second principe

1. États de la matière
   - Trois phases principales
   - Corps purs
2. Transitions solide-liquide vapeur
   - Diagrammes des variables d'état
   - Étude thermodynamique d'une transition de phase du premier ordre
   - Mesure de la chaleur latente de vaporisation du diazote
   - Retard à la transition de phase : metastabilité
3. Transitions ferro para, transition du second ordre
   - Modèle
   - Comparaison aux résultats expérimentaux

Trois phases principales

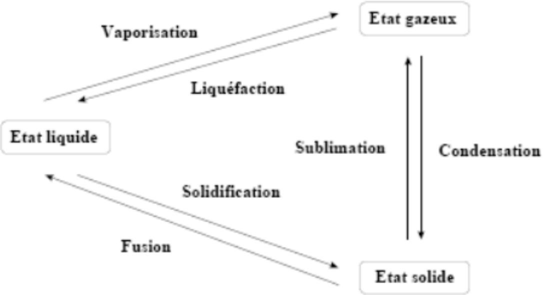


Figure – Cours thermo Paris Saclay Bobroff, Puzo

Trois phases principales

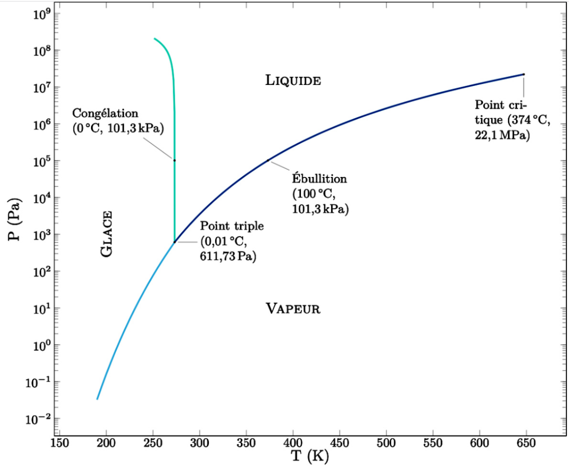


Figure – eduscol ens de lyon

Diagrammes des variables d'état

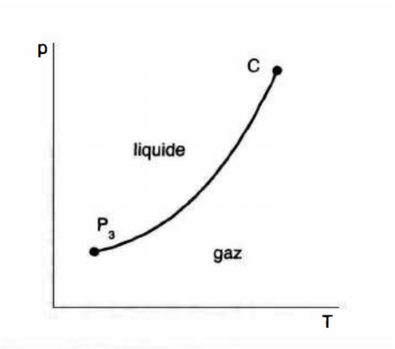


Figure – Courbe de vaporisation Diu p300

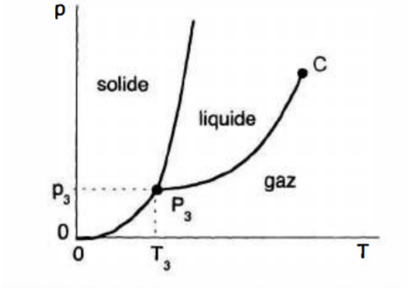


Figure – Courbe de vaporisation Diu p301

Diagrammes des variables d'état

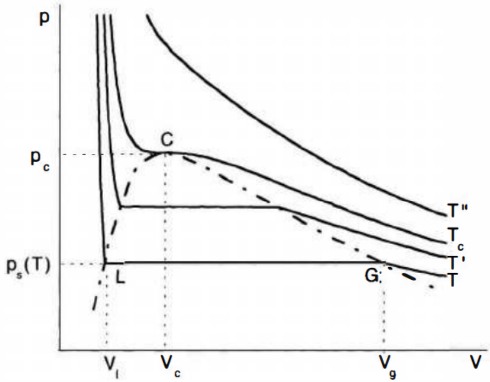


Figure – Courbe de vaporisation Diu p300

Bouillant de Franklin

Diagrammes des variables d'état

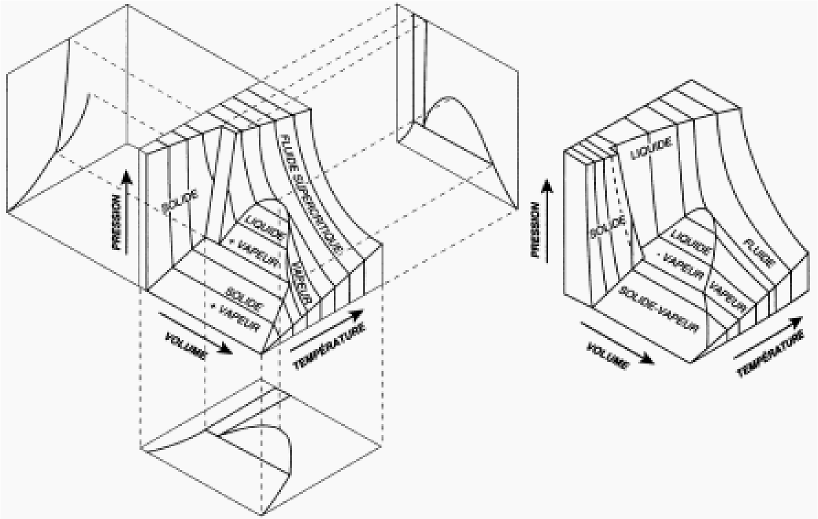


Figure – Diagramme P,V,T

Modèle

Modèle de Landau (expression générale) :

$$G(T,M) = A_0(T) + \alpha(T)M^2 + \frac{1}{2}\beta(T)M^4 + \ldots \tag{1}$$

Minimisation du potentiel (deux coniditions) :

$$\begin{aligned} \left.\frac{\partial G}{\partial M}\right|_T = 0, &\qquad \left.\frac{\partial^2 G}{\partial M^2}\right|_T > 0 \\ 2\alpha M + 2\beta M^3 = 0, &\quad 2\alpha + 6\beta M^2 > 0. \end{aligned} \tag{2}$$

Solutions possibles :

$$\begin{aligned} M_1 = 0, &\qquad M_2 = \left(-\frac{\alpha}{\beta}\right)^{1/2} \\ \left.\frac{\partial^2 G}{\partial M^2}\right|_T (M_1) = 2\alpha, &\quad \left.\frac{\partial^2 G}{\partial M^2}\right|_T (M_2) = -4\alpha. \end{aligned} \tag{3}$$

Comparaison aux résultats expérimentaux

- Quand $T < T_c$, $M > 0$, ce qui impose α et β de signes opposés. On veut aussi une solution stable :

$$\left.\frac{\partial^2 G}{\partial M^2}\right|_T (M = \sqrt{-\alpha/\beta}) = 2\alpha + 6\beta M^2 = -4\alpha > 0. \tag{4}$$

Donc $\alpha < 0$

- Quand $T = T_c$, M_2 tend vers 0, en ce point on veut une stabilité donc :

$$\left.\frac{\partial^2 G}{\partial M^2}\right|_T \approx 2\alpha + 6\beta M^2 > 0 \to \beta > 0. \tag{5}$$

- Quand $T > T_c$, On veut $M = 0$ et une solution stable. Cette fois cela impose :

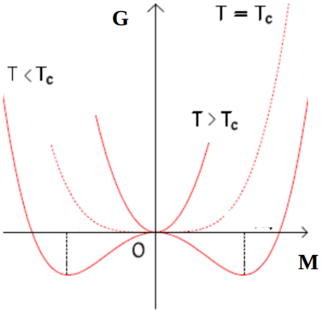
$$\left.\frac{\partial^2 G}{\partial M^2}\right|_T (M = 0) = 2\alpha > 0. \tag{6}$$

par continuité avec T_c, β est positif aussi.

Comparaison aux résultats expérimentaux

- $\beta = \beta_c > 0$ car ne change pas de signe
- $\alpha(T) = a(T - T_c)$ avec $a > 0$.

$$G(T,M) \approx A_0(T) + a(T - T_c)M^2 + \frac{\beta_c}{2}M^4 \tag{7}$$



Le Modèle prédit au voisinage de T_c :

$$M(T < T_c) = \sqrt{\frac{a}{\beta}(T_c - T)} \tag{8}$$