

Table des matières

1	Transition de phase	2
I	Description de la transition liquide-vapeur	3
I.1	Diagrammes de phase (P,T) et (P,V)	3
I.2	Enthalpie libre d'un corps pur sous deux phases	4
I.3	Chaleur latente liquide-gaz	4
II	Modèle de Landau pour la transition ferro-paramagnétique	5
II.1	Description de la transition	5
II.2	Enthalpie libre associée	6
II.3	Evolution de grandeurs thermodynamiques	6

Leçon 1

Transition de phase

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Editeur (année)	ISBN
Thermodynamique	BFR	Dunod	
Thermodynamique	Diu		
Physique Spé PC/PC*	S. Ollivier, H. Gié, J-P Sarmant	tec&Doc (2000)	
https://www.lkb.upmc.fr/boseeinsteinsondenses/wp-content/uploads/sites/10/2017/10/CoursThermo2017.pdf	Jérôme Beugnon		
Dictionnaire de Physique	R. Taillet	deBoeck (2018)	

Commentaires des années précédentes :

- **2015** : Il est dommage de réduire cette leçon aux seuls changements d'états solide-liquide-vapeur. La discussion de la transition liquide-vapeur peut être l'occasion de discuter du point critique et de faire des analogies avec la transition ferromagnétique-paramagnétique. La notion d'universalité est rarement connue ou comprise,
- **2014** : Il n'y a pas lieu de limiter cette leçon au cas des changements d'état solide-liquide-vapeur. D'autres transitions de phase peuvent être discutées.

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : Licence 3

Prérequis :

- Potentiels thermodynamiques, coefficients calorimétriques,
- Variance, règle des moments
- aimantation, susceptibilité magnétique

Déroulé détaillé de la leçon :

Introduction

La notion de phase paraît assez naturelle si on prend l'exemple de l'eau. La glace, la vapeur et l'eau liquide sont toutes trois des phases dans lequel l'arrangement des molécules d'eau n'est pas du tout la même d'une phase à une autre.

Sur slide : on peut prendre la définition de Taillet p559 : arrangement des constituants d'un milieu dans lequel les propriétés mécaniques, thermodynamiques, électriques et magnétiques varient continûment.

On va dans cette leçon essayer de décrire ce qu'il se passe thermodynamiquement lorsqu'on passe d'une phase à une autre en prenant appui pour commencer sur la transition liquide-vapeur de l'eau.

I Description de la transition liquide-vapeur

I.1 Diagrammes de phase (P,T) et (P,V)

Construire comme les diagrammes (P,T) et (P,V). Diu p297 : transformation à température constante. On a une enceinte avec un piston mobile. On considère une transformation quasi-statique et isotherme. On voit apparaître à une certaine pression P_S du liquide qu'on définit comme la pression de vapeur saturante. Si on continue à appuyer, la pression reste constante jusqu'à ce que tout le gaz se soit transformer en liquide. Si on répète la même expérience à une température différente, la pression P_S va changer.

Manip qualitative : Tracer des isothermes de SF_6 .

On constate un pallier de liquéfaction qui permet de remonter à la composition du système en liquide ou en vapeur par la règle des moments. Définir les courbes

de rosée et d'ébullition.

Il existe une certaine température pour laquelle on n'aura plus de pallier de liquéfaction : c'est la température critique. (T_c, P_c) définit le point critique du fluide pour lequel le fluide reste homogène pour toute variation du volume .

Pour passer d'un point à un autre sur le diagramme (P, T) , on peut utiliser le bouillant de Franklin https://www.youtube.com/watch?v=nxAdQ_8tC1U. 1-2) on évapore à P_{atm} jusqu'à 100° , 2-3) on bouche le bouilleur P augmente, on se déplace sur $P_s(T)$, 3-4) plus d'ébullition T diminue à pression cste, 4-5), on verse de l'eau froide qui diminue P (et T aussi sans doute), le système peut retrouver $P_s(T)$ et on voit l'eau bouillir.

Parler de la surfusion ou surébullition ?

Transition : Comment décrire thermodynamiquement ce qui se passe au niveau de ce changement d'état ? Comme on travaille à P ou T variable, on va utiliser l'enthalpie libre $G = U + PV - TS$.

I.2 Enthalpie libre d'un corps pur sous deux phases

Suivre Tec&Doc à partir de p294. On considère deux phases différentes d'un même corps pur dans un récipient maintenu à T et P par contact avec l'atmosphère extérieure et un thermostat.

Condition d'équilibre et d'évolution sur slide.

$V = V_1 + V_2$, $U = U_1 + U_2$, $S = S_1 + S_2$ on a donc $G = U + PV - TS = G_1 + G_2 = n_1 g_1 + n_2 g_2$.

Comme on travaille à $n = n_1 + n_2$ fixé, on peut réécrire l'enthalpie comme une fonction dépendant de n_2 T , P : $G(T, P, n_2) = (n - n_2)g_1(T, P)$. Montrer dans le cas

I.3 Chaleur latente liquide-gaz

Définition Diu p324. **Manip quantitative : mesure de la chaleur latente de vaporisation de l'eau.** On a besoin :

— alternostat,

- deux multimètres METRIX pour mesures de V et I,
- balance électronique,
- thermoplongeur,
- potence + noix
- fils électriques,
- récipient DEWAR,
- chronomètre,
- thermomètre,

Brancher l'alternostat par des fils à l'alimentation du thermoplongeur.

Démontrer la formule de Clapeyron et ses conséquences Tec&Doc p298-300.

Transition : Faire le lien entre le passage au point critique de l'eau où l'enthalpie de changement d'état est nul et la transition du second ordre.

II Modèle de Landau pour la transition ferro-paramagnétique

Voir Diu p213.

II.1 Description de la transition

Vidéo pour la température de Curie : <https://www.youtube.com/watch?v=haVX24h0wQI>

A $T > T_c$ (température de Curie), on a $\langle M \rangle = 0$. Mais à $T \leq T_c$, on a $M \neq 0$.

Odg : Fer : $T_c = 1043$ K, cobalt : $T_c = 1388$ K.

M est une fonction continue de la température et est un paramètre qui mesure l'ordre (magnétique) du système : on l'appelle par ailleurs le paramètre d'ordre.

Landau associe à toutes les transitions de phases du second ordre un paramètre d'ordre continu.

II.2 Enthalpie libre associée

Déterminer $G(T)$ avec le modèle de Landau **u voisinage de la transition !!**
Si pas le temps, donner directement les arguments :

$$\frac{\partial G}{\partial M_T} = 0 \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial^2 G}{\partial^2 M_T} > 0 \quad (1.2)$$

Puis donner la forme de G obtenue et représenter graphiquement pour $T > T_c$, $T = T_c$ et $T < T_c$.

II.3 Evolution de grandeurs thermodynamiques

Montrer que $S(T)$ est continue mais que $C_V(T)$ et/ou $\chi(T)$ sont discontinues au voisinage de la transition. C'est une caractéristique des transitions de phase du second ordre : les dérivées secondes de l'énergie du système sont discontinues au voisinages de la transtion.

Problème : l'accord $\chi \propto (T - T_c)^{-1}$ avec l'expérience n'est pas la : cela vient du fait

Conclusion

Exposants critiques à la transition : notion d'universalité. Classification des transitions de phases : ehrenfest et Landau (voir Diu p649)