
TRANSITION DE PHASE

Niveau

Commentaires du jury

—

Bibliographie

— Jolidon (le nouveau) pour le supra

pré-requis

Expériences

—

Table des matières

1	SF6	1
1.1	Tracé des isothermes dans le diagramme de Clapeyron	2
1.2	Mesure de la quantité de matière	2
1.3	Chaleur latente de vaporisation	2
2	Transition du second ordre : Normal/supra	3
2.1	Mise en évidence qualitative de la transition	3
2.2	Mesure quantitative	4

Introduction

Aujourd'hui on explore certaines propriétés des transitions de phase. Classiquement, on envisage les transitions solides/liquides/gaz, mais il y en a une plus grande variété.

1 SF6

Le but de cette expérience est de montrer une courbe de changement d'état dans le diagramme PV et également de remonter à la chaleur latente de changement d'état.

1.1 Tracé des isothermes dans le diagramme de Clapeyron

Tracé des isothermes :

- On donne une température de consigne pour le bain thermostaté
- On attend la stabilisation de la température (c'est pas grave si ca n'est pas exactement celle de consigne, cependant il faut la connaître avec précision)
- On fait toujours les mesures en diminuant le volume.
- On relève V et P pour différent V

On observe une isotherme d'un gaz de Van der Waals.

Le plateau est pas toujours un vrai plateau, cela est peut être dû aux impuretés... Du moins c'est l'explication classique... On constate qu'en attendant une dizaine de minutes, le plateau est plus marqué. On doit réaliser un compromis entre temps et précision.

1.2 Mesure de la quantité de matière

On veut remonter à la chaleur latente de changement d'état, pour cela on a besoin de la quantité de matière contenue dans le système. Pour cela on utilise le développement du Viriel :

$$PV = nRT \left(1 + B_2(T) \left(\frac{n}{V} \right) + B_3(T) \left(\frac{n}{V} \right)^2 + \dots \right)$$

L'idée du développement du Viriel est que pour un gaz parfait le facteur de compressibilité vaut $Z = \frac{PV}{nRT} = 1$. Or on sait que cela n'est valable que pour des gaz dilués, c'est plus élevé sinon. Quand on considère des gaz réels, on prends en compte la non idéalité des gaz en développant en puissance de n/V la compressibilité. Ici il est important de prendre en compte ce développement du Viriel et de ne pas considérer que notre gaz est parfait car on observe un changement d'état. Or ce changement d'état n'est pas prédit par l'équation des gaz parfait. Donc on est certain que l'on s'écarte de la loi des gaz parfait !!

Détermination de la quantité de matière

On prend les données d'un isotherme et on trace

$$PV/RT = f(1/V)$$

On s'attend à une droite d'ordonnée à l'origine n

On attend $n = 1.74 \text{ mol}$

On peut le faire pour plusieurs isothermes et obtenir une valeur moyenne ?

Bouuum on a la quantité de matière. On peut maintenant mesurer la chaleur latente de vaporisation

1.3 Chaleur latente de vaporisation

D'après la formule de Clapeyron :

$$\frac{dP_{sat}}{dT} = \frac{L(T)}{T(v_g(T) - v_l(T))}$$

Avec $v_g = V_g/n$ le volume pour lequel on observe la dernière goutte de liquide. et $v_l = V_l/n$ le volume pour lequel on observe la dernière bulle de gaz. On approxime $\frac{dP_{sat}}{dT}(25^\circ C)$ par les mesures à $23^\circ C$ et $27^\circ C$:

$$\frac{dP_{sat}}{dT}(25^\circ C) = \frac{P_{sat}(27) - P_{sat}(23)}{T(27) - T(23)}$$

$$L(25) = T(25) \left(\frac{V_g(25) - V_l(25)}{n} \right) \frac{P_{sat}(27) - P_{sat}(23)}{T(27) - T(23)}$$

La précision doit être en $o(4/298) \approx o(0.01)$...

Mesure de L

Faire le calcul plus haut (si on a pas le temps de faire le calcul en entier, on peut ne pas faire à 25°C et prendre la formule du TP).

On attend $L = 8.99 \text{ kJ/mol}$

2 Transition du second ordre : Normal/supra

C'est important les supra : dans les IRM, on a besoin de faire circuler de grands courants (pour induire un champ magnétique). Avec des supra conducteurs, c'est plus facile.

2.1 Mise en évidence qualitative de la transition

Montrer l'effet Meissner (expulsion du champ par un supra). Voir le Jolidon page 381 pour les vraies explications. Notions importantes à évoquer :

- Théorie de London : approche macroscopique postulé en 1935. Ils proposent une relation phénoménologique liant B et j . Ils en déduisent que le champ ne pénètre que sur une longueur λ_L .
- Un supra est qualifié de diamagnétique parfait car $\chi = -1$
- Il y a la théorie de Gingsburg Landau qui améliore l'approche des frères London
- Théorie quantique BCS (Bardeen, Cooper et Schrieffer) : "Il s'agit d'une théorie microscopique de la supra-conductivité, fondée sur l'existence d'une attraction effective entre électrons suite à leur interaction avec les vibrations du réseau cristallin (phonons). Cette interaction entraîne la création d'un état lié constitué de paires d'électrons de spins opposés, appelées paires de Cooper." Jolidon page 383.

Ce que moi je comprend du piégeage : Quand on refroidit un supraconducteur de type 2 en présence d'un champ magnétique, quand il fait sa transition normal supra, il devient un "gruyère". C'est à dire qu'il est supra avec des trous normaux. Dans les partie supra, le champ ne peux pénétrer. Nous pouvons expliquer cela par le fait que la résistance est nulle dans ses parties, ainsi, cela ne coûte rien du tout au matériaux de créer des courant qui s'oppose au champ extérieur. Dans les parties normales, il peut y avoir du champs. Cependant il y a quantification du flux qui peut y passer à causses des conditions aux limites supra. C'est parce qu'il y a à la fois des parties normales et supra que l'on peut piéger un aimant (si on est totalement supra, alors l'aimant est rejeter).

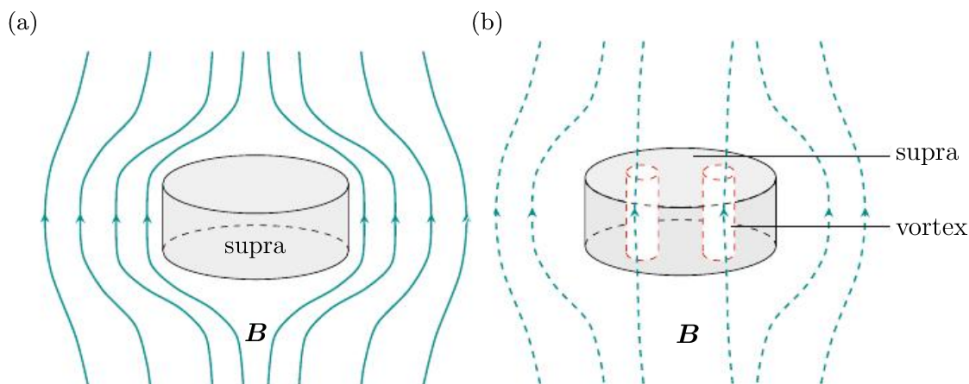


FIGURE 1 – Effet Meissner (a) type 1, (b) type 2. Jolidon

Effet Meissner

On refroidit un supra conducteur avec un aimant posé dessus (on met une cale entre l'aimant et le supra). On refroidit le tout avec de l'azote liquide. On peut retirer la cale, l'aimant lévite. C'est même plus que cela, il est piégé, c'est à dire que si on essaye d'enlever l'aimant, on tire le supra avec. On peut prendre le supra avec une pince et promener l'aimant, lui donner de la rotation,...

Noms importante : W. Meissner et R. Ochsenfeld : 1933 pour effet Meissner. Applications : train.

Il semblerait que le fait que l'aimant tombe d'un coup soit caractéristique du 2nd ordre? car il n'y a pas de palier de changement d'état?

2.2 Mesure quantitative

Quaranta (II) page 83? Le principe de la mesure est la suivante : On plonge une céramique supraconductrice "Ybacuo" ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$) dans de l'azote liquide. On attend que la céramique se thermalise (on est alors dans un état supra). On ressort le supra. Le supra se réchauffe et on mesure l'évolution de la résistance au cours du temps.

Transition normal/supra

Tout ce qui nous intéresse pour la mesure quanti, c'est de mesurer la température de transition.

Plaquette 102.36. La mesure doit s'effectuer à courant constant. Aussi, on alimente avec une alimentation stabilisé le supra (P53.6) et on mesure la résistance en 4 fil (on le fait nous même, c'est à dire que l'on alimente avec une alimentation stabilisé et on mesure la tension.) Il nous faut de plus une mesure de température. En effet on veut la résistance en fonction de la température, pour pouvoir remonter au changement de comportement, et donc à la transition. Pour cela on peut utiliser un thermocouple de type K celui en métal utilisé dans le montage mesure de température. On le fixe avec ud scotch, se référer à la notice pour connaître l'étalonnage. On peut faire une incertitude de type A en répétant plusieurs fois la mesure. On utilise des milivoltmètres fluke. Il en faut deux, un pour le résistance (on mesure une tension que l'on converti en résistance) et un pour le thermocouple. On lance les deux en même temps avec une acquisition d'environ 300 à 500 points. on plonge doucement le supra dans l'azote liquide ou on le ressort. On mesure la température de transition.

Paramètre d'ordre de la transition : densité de paires de Cooper.

Conclusion

On a observé des transitions d'ordres différents. Les transitions du premier ordre s'accompagnent de chaleurs latentes de changement d'état, que l'on peut calculer. Il existe des transitions de phases plus subtiles, les propriétés variant d'une phase à l'autre n'étant pas les mêmes.