

MP6 : Transitions de phase

Damien RIOU

11 décembre 2015

Objectifs

- Étudier la transition liquide-gaz d'un corps pur
- Étudier deux transitions que nous pouvons avoir dans un solide
- Mesurer une chaleur latente de vaporisation et une température de Curie

Table des matières

1 Transition liquide-gaz d'un corps pur	1
1.1 Tracé du diagramme PT	1
1.2 Loi de Clapeyron	2
1.3 Relation de Dupré	2
2 Transitions de phase dans les solides	2
2.1 Transition allotropique du fer	2
2.2 Transition para-ferromagnétique	3

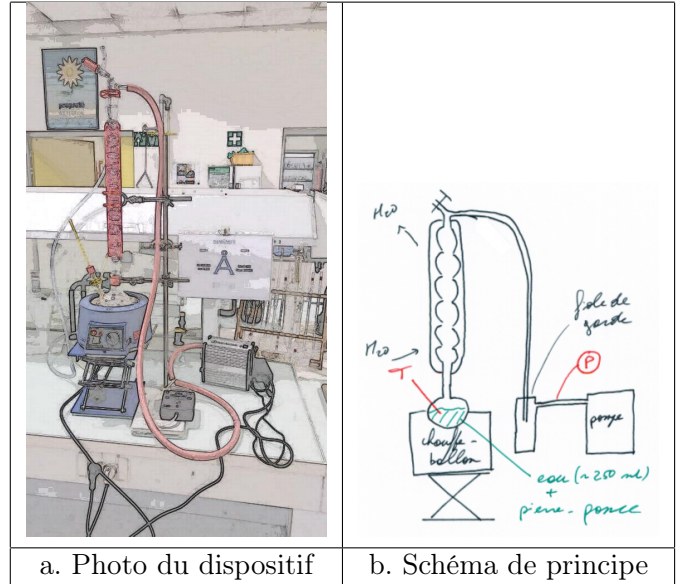


FIGURE 1 – Montage pour l'étude de la transition liquide-gaz de l'eau

Introduction

Nous utilisons tous les jours les transitions de phase. En effet, dans certaines machines diathermes comme les réfrigérateurs, les transitions de phase sont utilisées pour transmettre de la chaleur ou exercer un travail. Il est donc important de comprendre les transitions de phase.

1 Transition liquide-gaz d'un corps pur

Dans cette partie, nous allons étudier la transition liquide-gaz de l'eau.

1.1 Tracé du diagramme PT

La montage est celui présenté en figure 1. Nous avons mis dans le bicol 250 mL d'eau accompagné de pierre ponce dont nous pouvons fixer la température grâce au chauffe-ballon et la pression grâce à une pompe. Celle-ci est munie d'une fiolle de garde afin d'éviter tout noyade de la pompe par l'eau,

chose qui lui serait fatale. Nous munissons le montage d'un thermomètre plongeant dans l'eau et d'un manomètre. Le ballon est surmonté d'un réfrigérant à boules et de grand format de manière à offrir la plus grande surface de contact entre le verre et le gaz. Notons que l'eau a une chaleur latente de condensation élevée, ce qui justifie la mise en place d'un si grand réfrigérant et ce qui implique un débit d'eau élevé dans celui-ci.

La première étape est de faire le vide dans le montage de manière à le purger de l'air qu'il contient. Une fois cette étape faite, nous coupons la pompe, faisons chauffer l'eau aux alentours de 30°C, et rebranchons la pompe jusqu'à déclencher une belle ébullition contrôlée par la pierre ponce. Nous coupons à nouveau la pompe, nous créons donc un système fermé hors équilibre qui relaxe vers un état d'équilibre qui va nous donner notre couple pression température.

Un fois ce point pris, nous en prenons un tous les 5°C et nous pouvons tracer le diagramme PT de l'eau (figure 2). Nous observons la bonne adéquation entre l'expérience et les valeurs tabulées. Aux faibles dimensions des barres d'erreur, nous pouvons dire que la précision est satisfaisante pour cette exploitation.

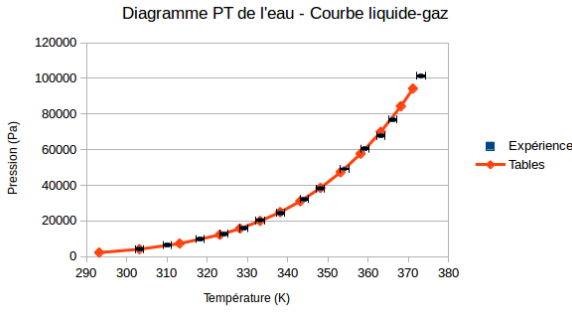


FIGURE 2 – Diagramme PT de l'eau

Cette transition de phase est une transition du premier ordre, avec discontinuité du volume molaire (ou massique) du corps pur, ici l'eau.

1.2 Loi de Clapeyron

Une des lois de la thermodynamique portant sur les transitions de phases est la loi de Clapeyron. Appliquée à la vaporisation, nous avons la chaleur latente massique L_v :

$$L_v = T \frac{V_g - V_l}{M} \left. \frac{dP}{dT} \right|_{sat}$$

Si nous considérons en première approche que le volume molaire du gaz est très supérieur à celui du liquide, que la phase vapeur est un gaz parfait et que la chaleur latente est fixe sur la portion de température que nous avons, nous obtenons :

$$L_v = \frac{RT^2}{MP} \left. \frac{dP}{dT} \right|_{sat}$$

Nous traçons alors :

$$\ln P = \frac{-L_v}{RM} \frac{1}{T} + K$$

Nous obtenons alors une droite (figure 3). Cela nous donne :

$$L_v^{exp} = 2350 \pm 10 \text{ kJ/kg}$$

$$L_v^{tab} = 2379 \text{ kJ/kg}$$

Nous voyons là une bonne adéquation entre la valeur tabulée et la valeur issue de notre expérience.

1.3 Relation de Dupré

Ceci étant, nous avons fait une grosse approximation en considérant notre chaleur latente de vaporisation comme étant constante. Une première correction à ce modèle peut être apportée par la relation de Dupré qui donne la chaleur latente comme une fonction affine de la température :

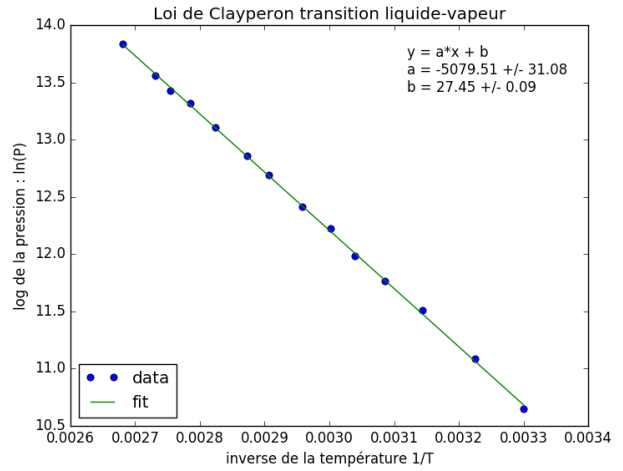


FIGURE 3 – Recherche de la chaleur latente massique de l'eau

$$L_v = a - bT$$

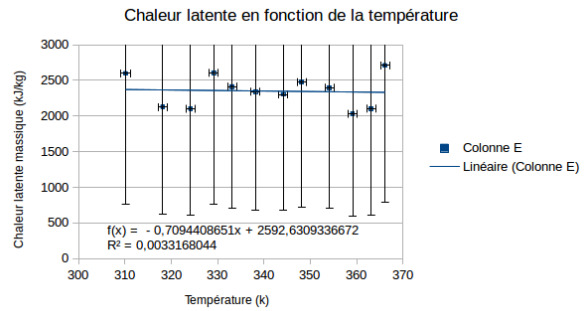


FIGURE 4 – Recherche de la relation de Dupré

Donc pour chaque point nous calculons la chaleur latente massique (figure 4). Nous voyons ici que nos mesures ne sont pas assez précises, surtout celles concernant la pression, pour remonter à la chaleur latente suivant la formule de Dupré. Si nous arrivions à avoir une meilleure précision, nous remontrions à cette loi.

2 Transitions de phase dans les solides

Après avoir vu une transition de changement d'état, nous pouvons nous intéresser aux transitions de phases que nous pouvons avoir dans les solides.

2.1 Transition allotropique du fer

Le fer présente plusieurs formes allotropiques en fonction de sa température. La transition d'une forme à une autre est appelée transition allotropique. C'est

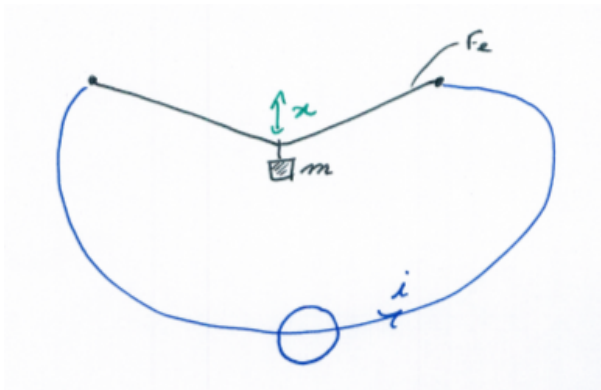


FIGURE 5 – Schéma du montage de la transition allotropique du fer

une transition de phase du premier ordre. Pour le fer, cette transition se fait aux environs de 900°C .

Le montage (figure 5) est prévu pour faire passer une forte intensité dans le fil ce qui va le chauffer par effet Joule au-delà de la température de transition de phase. Nous observons au refroidissement une descente lors de la remontée du fil, nous avons alors là une perte de compacité, c'est la transition de phase.

2.2 Transition para-ferromagnétique

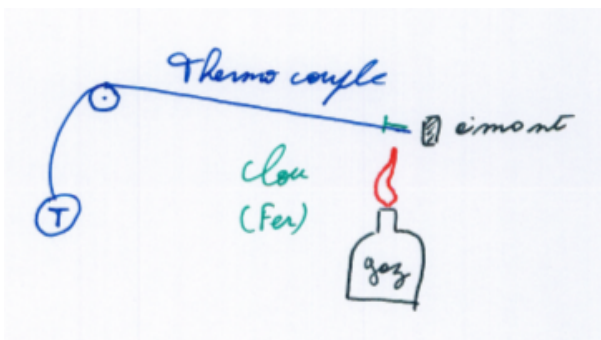


FIGURE 6 – Schéma du montage de mesure de la température de Curie du fer

Par ailleurs, le fer est un composé ferromagnétique

à température ambiante. Ainsi, si nous soumettons une pièce en fer à un champ magnétique, elle va répondre à l'excitation par la production d'un champ qui va lui permettre d'être attiré par l'aimant. Il y a donc un ordre au sein des électrons dans le métal. Cet ordre est perturbé par l'agitation thermique, et lorsque celle-ci devient prédominante, le corps devient paramagnétique. Cette transition est une transition du deuxième ordre, elle intervient lorsqu'on franchit la température de Curie.

Le dispositif expérimental est composé d'un thermocouple attaché à un clou fait de fer, ceci permet donc d'avoir accès en temps réel à la température du clou (figure 6) qui est chauffé par un bac à gaz grâce à une acquisition faite par ordinateur.

Cette mesure étant imprécise et facile à faire, nous pouvons la répéter à l'envie de manière à pouvoir faire un traitement statistique. Nous obtenons alors :

$$T_C^{exp} = 763 \pm 11^{\circ}\text{C}$$

$$T_C^{tab} = 770^{\circ}\text{C}$$

Nous observons une bonne corrélation entre l'expérience et la valeur tabulée.

Conclusion

Dans ce montage, nous avons vu différentes transitions de phases, d'ordre 1 et 2. Cette étude est très riche du fait de la diversité des transitions qui n'a été qu'esquissée ici.

Références

- [1] Dictionnaire de physique expérimentale : Thermodynamique, L. Quaranta, Pierron
- [2] Thermodynamique, L. Taillet, De Boeck