

M6 : Transitions de phases

Rapport du jury : Ce montage doit être quantitatif et il ne faut donc pas se limiter à une série d'expériences qualitatives mettant en évidence des transitions de phases dans différents systèmes. Il faut, lors des mesures, avoir bien réfléchi aux conditions permettant d'atteindre l'équilibre thermodynamique. Dans ce domaine, les mesures « à la volée » sont souvent très imprécises. Une grande attention doit être apportée à la rigueur des protocoles employés. Enfin, il faut rappeler aux candidats que le diazote n'est pas le seul liquide dont il est possible de mesurer la chaleur latente de vaporisation et que plonger un corps solide dans un liquide conduit à l'existence d'une force appelée poussée d'Archimède. Dans les expériences de calorimétrie, il est important de tracer l'évolution temporelle de la quantité mesurée (température, masse) avant et après le phénomène étudié afin d'estimer les fuites thermiques. L'établissement des équilibres thermiques étant parfois long, il est nécessaire de bien gérer le temps et d'anticiper le démarrage des expériences. La durée des régimes transitoires doit être prise en compte dans les interprétations.

Introduction

Une transition de phase consiste en un changement d'état dû à une modification de paramètres externes (température, champ magnétique...).

→ Schéma liq, gaz, sol (Cf poly)

Point triple : coexistence des 3 phases

Il faut parler de variance $v=c+2-\phi$

Si 3 phases : aucune variable libre

Si 2 phases : $v=1$, un paramètre varie, un fixe (P ou T)

-Transition du 1er ordre = les dérivées partielles 1ère de l'enthalpie libre sont discontinues : se traduit par une chaleur latente et variation d'entropie et masse volumique. Il y a également coexistence entre les 2 phases.

-Transition 2nd ordre = les dérivée partielle 1ère continue mais pas 2ème ordre. (Exemple: transition ferro-para du fer)

I - Transition solide-liquide

M06 - II.1

On étudie l'évolution de la température lors du refroidissement d'un échantillon d'étain fondu.

Montage : Utilisation d'un Dewar avec eau et glace et creuset avec de l'étain + thermocouple de type K car on veut travailler à des grandes températures (connaitre fonctionnement thermocouple K -tige en Chromel et une autre en Alumel-). Une tige reliée à l'étain et une autre dans un calorimètre (eau + glace) qui sert de référence car température connue (0°C).

-On relie à un amplificateur non inverseur, car thermocouple a un signal très faible donc on doit l'amplifier pour mesurer sur Latis Pro. L'acquisition dure environ 15 min.

-L'étain a été préalablement fondu, on va faire l'acquisition lors de son refroidissement.

-Les paramètres d'acquisition dépendent de nombreux paramètres : quantité d'étain, température après avoir dépassé la fusion... (Cf poly pour les paramètres d'acquisition possible).

Attention : Il y a un offset dû à l'amplificateur : une fois l'acquisition faite, on peut plonger les 2 thermocouples dans le mélange eau-glace pour déterminer cet offset.

-On lisse la courbe et on retranche l'offset obtenu.

-La tension mesurée par Latis : $EAO = Gain \cdot U_{reel}$, où $U_{reel} = K \cdot T$ donc $T = (EAO / (G \cdot K))$
($G = 1 + R_2 / R_1$, $K = 40 \mu V / ^\circ C$).

-On trace T en fonction du temps

-On observe un palier ce qui est caractéristique d'un corps pur, il est lié à la mono variance de ce type d'équilibre : $v = 1 + 2 - 2 = 1$ et comme la pression est fixée à 1 atm, c'est la température le paramètre variable.

-On détermine la température du palier (en se plaçant au milieu du palier). On compare à valeur tabulée (232°C)

Conclusion : On a bien une transition du premier ordre : coexistence des 2 phases. On a continuité de l'enthalpie libre, mais discontinuité des dérivées premières : $V = (dG/dT) \cdot T$ et $S = -(dG/dT) \cdot P$ non nulle. Il y a discontinuité du volume donc modification de la masse volumique, et une discontinuité de l'entropie se traduisant par l'existence d'une chaleur latente de changement d'état. Cette chaleur latente explique le palier en température observé au refroidissement, la température dégagée maintient la température constante tant que la solidification n'est pas complète.

II-Transition liquide-gaz

M06 - III.2

On a vu qu'un changement d'état du premier ordre s'accompagne de l'existence d'une chaleur latente à la transition, on souhaite mesurer la chaleur latente de l'azote liquide.

But : Mesure de la chaleur latente de vaporisation du diazote par calorimétrie. On regarde les pertes de masse sans chauffage et avec chauffage.

Montage : Dewar avec de l'azote liquide, le tout est posé sur une balance (on tare), les parties qui ne plongent pas dans l'azote doivent être bien calorifugées.

-On place une résistance thermique chauffante (éteinte) délicatement, il ne faut pas toucher les parois.

-On lance une vidéo des appareils de mesures, au début de la manip (dès qu'on a placé la résistance dans le Dewar). La vidéo va nous permettre de relever la perte de masse en fonction du temps pendant une certaine durée.

-On alimente la résistance chauffante par 25V. On relie le tout à un voltmètre et ampèremètre car elles apparaissent dans la chaleur latente. (On allume un peu plus tard la résistance).

-On relève la tension et le courant au moment où on allume chauffage.

→ La perte de masse s'accélère après le chauffage.

-On trace la perte de masse en fonction du temps. On fait une modélisation linéaire pour la première droite (avant chauffage) et idem pour l'autre droite (après chauffage). On relève les coefficients directeurs des 2 pentes et on va pouvoir en déduire les chaleurs latentes.

Voir Excel

La pente avant le chauffage permet d'évaluer les pertes thermiques du système. La pente après chauffage correspond aux pertes thermiques auxquelles s'ajoute la vaporisation d'azote.

III - Point triple du N_2

M06 - IV.1

On fait plutôt avec le diazote car le point triple s'obtient plus facilement avec le matériel à notre disposition. (Ici : on a aucune variable libre)

Mettre caméra au dessus de la cloche à vide

Montage (M06 - III.3.1) : On place sous une cloche à vide : Pt 100 dans de l'azote liquide qui est dans un Dewar relié à un ohmmètre + pressiomètre relié à la cloche pour avoir la pression à l'intérieur : on va avoir la résistance et la pression au point triple. Pour comparer à la théorie.

Point triple: Valeur théorique : $P_t = 125 \text{ mbar}$ et $T_t = -210^\circ\text{C}$

On relève la résistance et la pression correspondant au moment où on voit qu'on a le solide apparu, on peut ainsi remonter à la température nécessaire pour observer le point triple.

Pour l'obtention de T_t : On la déduit avec Ohmmètre à partir de la formule du poly (utilisation d'un solveur)

Voir Excel

Si le temps : M06-V.2 A la fin possible de faire la manip qualitative de transition ferro-para du Fer : transition du 2nd ordre.

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 que esquissée ici.

Application aux machines thermiques

Questions :

-Hypothèses pour le modèle du gaz parfait ?

→ Le modèle du gaz parfait suppose l'existence d'un gaz constitué de molécules ponctuelles, sans interactions mutuelles, ce qui est possible si la densité du gaz tend vers 0
Enfin, les hypothèses fondamentales de la théorie cinétique sont :

-équilibre statistique du gaz parfait (ou chaos moléculaire): la répartition des grandeurs physiques du système est la même à chaque instant.

-distribution homogène des molécules : il n'y a pas de positions privilégiées pour les molécules de gaz parfaits.

-distribution des vitesses homogène et isotrope.

<http://clement.baruteau.free.fr/physstat/node9.html>

-Pour l'étain, la température de fusion est elle toujours la même, de quoi dépend elle?
Quand on chauffe l'étain, il s'oxyde à l'air et une couche solide peut apparaître à la surface du liquide. ($T_{f_{oxyde}} > T_{f_{Sn}}$) Ces traces d'oxyde peuvent perturber le palier de resolidification (car corps impur) on ne doit pas chauffer plus que nécessaire.

-Signification lettre K sur le thermocouple ?

Correspond à la classe du thermocouple, à sa plage de température qu'il est capable de mesurer. (-180 à 1200°C, peut varier mais plage de température étendue). C'est le plus couramment utilisé. Il est composé de chromel (alliage Chrome + Nickel) et Alumel (alliage Aluminium + Nickel)

A savoir :

-Transition solide-liquide/gaz : jamais du 2nd ordre ! Problème de symétrie.

-Transition liquide-gaz : peut être du 2nd ordre car la symétrie le permet (sur le graphe on peut le voir du au point critique : aucun discontinuité au dessus du point critique, on ne voit pas d'interface entre liquide et gaz)

Attention : parfois pression critique et température critique peut dépendre du volume