

Présentée le 08/02/17, correction par S.Paillat et V.Raban¹.
Appréciation : A, très bon montage.

Ce compte-rendu ne contient que l'avis des correcteurs. Il doit par conséquent être lu avec un regard critique.

COMMENTAIRES DU JURY

Un condensé des retours du jury sur ce montage :

- ▶ faire des expériences quantitatives,
- ▶ étudier plusieurs transitions,
- ▶ faire les mesures à l'équilibre,
- ▶ mesurer l'évolution temporelle.

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Ont été présentées la mesure de la chaleur latente de fusion de la glace, le tracé des isothermes dans le diagramme (P, V) de SF6, la mesure de sa chaleur latente de vaporisation à $T = 25$ °C, l'opalescence critique, puis la mesure de la température critique de la transition supra d'YBaCuO et la lévitation d'un aimant par effet Meissner.

Ce plan est tout à fait présentable devant le jury : les trois mesures quantitatives (certes sans variation de paramètres, donc sans tracé de droite, mais ce n'est pas choquant dans ce montage) suffiront à obtenir une excellente note.

Antoine a montré dans la séance de questions une solide compréhension des expériences présentées : le principe de fonctionnement des outils de mesure, les principes physiques en jeu, la démonstration des formules utilisées étaient connus. Les incertitudes ont été discutées avec pertinence et honnêteté. Les résultats quantitatifs ont été bien mis en valeur (unités et incertitudes).

Le point noir du montage a été l'énorme écart entre les valeurs mesurées et les valeurs attendues. Il est plus que probable que le jury se montre tolérant sur ceci, les expériences présentées étant notoirement difficiles. Malgré tout, le montage vise à évaluer vos compétences expérimentales. Il est par conséquent judicieux de choisir des expériences qui fonctionnent. Celle de la chaleur latente de fusion de l'eau pose apparemment problème et pourrait être remplacée avantageusement par l'évaporation du diazote.

¹. valentin.raban@ens-lyon.fr

RETOUR SUR LA MONTAGE

Enthalpie de fusion de la glace L'expérience a été bien menée. C'est bien de suivre l'évolution temporelle de la température dans le calorimètre, afin de pouvoir justifier l'obtention de l'équilibre thermodynamique lorsque la température cesse d'évoluer, et aussi d'évaluer les pertes thermiques. Cela n'empêche pas d'utiliser un autre thermocouple, plus précis, pour la mesure des températures avant et après insertion de la glace. Sur ce point, la glace a été précédemment mise dans l'eau pour être à 0 °C, c'est en effet très important car les glaçons sortis du congélateur sont à -20 °C, et leur réchauffement n'est pas pris en compte dans la formule utilisée. On peut par contre mentionner qu'il est encore plus rigoureux de sécher les glaçons (sur un papier absorbant) avant de les insérer dans le calorimètre (l'eau liquide ainsi introduite fait partie de la masse mesurée mais ne libère pas l'enthalpie de fusion). Pour l'acquisition temporelle, le calibre a été mal choisi et l'équilibre thermique n'a pas été attendu. C'est évidemment dommage et cela a largement participé à l'écart à la valeur tabulée. Une expérience présentée doit être soignée pour en retirer le maximum de points. La précipitation n'est par conséquent jamais pertinente, et il aurait été bien vu je pense de refaire l'expérience pour deux raisons : déjà, c'était la première expérience, le manque d'attention et la précipitation y est fréquent donc pardonné. Ensuite, il est difficile de justifier un manque de temps lorsqu'il reste encore 35 minutes.

Notons que la mesure de l'enthalpie de vaporisation du diazote ne nécessite pas la connaissance de la masse en eau du calorimètre (dont la détermination semble hasardeuse et qui est une des origines de l'écart à la valeur tabulée dans le résultat final pour l'enthalpie de fusion de la glace). Les pertes peuvent être précisément mesurées (perte de masse sans chauffer), ce qui permet a priori d'utiliser un « mauvais » calorimètre (puisque il semble que mettre de l'azote liquide dans les « bons » puisse les détériorer).

SF6 C'est une expérience notoirement difficile, les paliers dans les isothermes n'étant jamais horizontaux. À ce titre, on peut évoquer une pollution du gaz en guise de justification : si le corps n'est pas pur, l'argument sur la variance qui vaut 1 ne tient plus et donc P peut varier à T fixée. On peut aussi dire qu'on a pas attendu assez longtemps entre les

mesures pour être à l'équilibre, mais dans ce cas vous confessez manipuler salement... je préfère personnellement la première justification. Pour les mesures de volume qui présentent un hystérésis montée/descente, l'argument pertinent me semble être le mouillage du mercure sur les parois (les phénomènes de capillarité présentent souvent des hystérésis en pratique). Attention aussi à la mesure de la température, il est très malvenu ici de faire confiance à l'affichage du bain thermique. Premièrement le jury sera particulièrement sévère si vous confondez instrument de mesure et indicateur, et secondement, il est très improbable que la température dans la colonne soit celle du bain, puisque l'eau circule dans de longs tuyaux non isolés et en contact avec l'air ambiant avant d'arriver dans la colonne. La bonne idée est ici d'introduire un thermomètre à alcool (ou autre chose, mais c'est le plus pratique) en haut de la colonne. L'idée n'étant pas de gagner en précision mais au moins en justesse. D'autre part, l'estimation de la dérivée dP_{sat}/dT par différence finie peut être largement améliorée en choisissant des points plus proches (par exemple 23 °C et 27 °C pour 25 °C, plutôt que 20 °C et 30 °C).

Enfin, remarquons que l'obtention de la chaleur latente ne nécessite a priori que trois isothermes (23, 25 et 27 °C). Il est donc d'autant plus difficile de vendre au jury un argument type « j'ai pas eu le temps » pour justifier que les plateaux ne sont pas horizontaux. Il est même possible de ne tracer que deux isothermes en choisissant pour les volumes à 25 °C la moyenne de ceux à 23 et 27°C, au cas où vous seriez pris par le temps.

Opalescence critique Bonne idée d'utiliser la caméra. Ne rapporte probablement aucun point, puisque qualitative, mais c'est joli et ça fait une petite pause en plus d'une liaison sur les transitions du second ordre.

Température critique du supraconducteur L'expérience aurait profité d'un schéma plus détaillé au tableau. À part ça elle a été bien menée, l'écart à la valeur tabulée ayant été justifié par la différence de température entre le thermocouple et le supra, ce qui semble crédible et on ne peut pas y faire grand chose effectivement.

Effet Meissner Toujours amusant à regarder, mais ne rapporte probablement aucun point car qualitatif. Intéressant pour lancer une discussion sur la supraconductivité si vous êtes calés là-dessus.

RETOUR SUR LES QUESTIONS

La séance de questions a été un gros point positif de ce montage. Antoine a toujours eu quelque chose d'intéressant à dire, ce qui témoigne d'un soucis de compréhension pointu des expériences présentées. C'est ce qu'il faut viser. De manière très générale, sachez présenter le fonctionnement des capteurs et leur conditionnement (ici, les thermocouples et la mesure 4 fils notamment...), la valeur des paramètres choisis, l'impact d'un changement de paramètre, les phénomènes en jeu, la démonstration des formules (ici, le bilan d'enthalpie et la relation de Clapeyron, le jury peut tout à fait vous demander une démonstration au tableau), l'explication de phénomènes secondaires (ici l'hystérésis du mercure, qui permet au jury de vérifier que vous avez aussi travaillé le MP 02...) et bien entendu, sachez avancer des arguments crédibles et honnêtes à la justification des incertitudes, cela constitue au moins la moitié des questions du jury.

CONCLUSION

Pour améliorer ce très bon montage, je conseille :

- ▶ Tester l'évaporation du diazote plutôt que la fusion de la glace (certes, cela fait deux évaporations (diazote puis SF6) mais une manip qui vous permet de retomber sur une valeur tabulée me semble plus pertinente qu'une manip au destin incertain...).
- ▶ Soigner l'acquisition de l'évolution temporelle que le jury réclame depuis plusieurs années déjà.
- ▶ Mesurer la température pour SF6 avec un instrument de mesure (thermomètre à alcool par exemple).
- ▶ Resserer les températures choisies pour évaluer dP_{sat}/dT .
- ▶ Mettre mieux en avant la mesure 4 fils « homemade » par un schéma complet au tableau (plutôt que deux schémas qualitatifs séparés).
- ▶ Pour la séance de questions, justifier la non horizontalité des plateaux par la pollution du gaz plutôt que de vous accuser de manipuler trop vite.
- ▶ Pour les héros, on peut tenter d'obtenir une droite sur la première expérience, soit en variant la masse de glace insérée si on garde la fusion de la glace, soit en variant la durée de chauffage sur l'évaporation du diazote. Pas forcément pertinent mais une droite est une droite.

Enfin, mentionnons au cas où l'excellent BUP 589 (Gauthier, Deguin, Baldy, 1976) sur l'expérience avec SF6, ainsi que le rapport du jury (voir p32 pour la description de l'épreuve de montage).