ENTHALPIE MASSIQUE DE FUSION DE LA GLACE

I But de la manipulation

Un changement d'état de la matière (solide, liquide ou gaz) nécessite un transfert d'énergie. En effet, dans un solide, les entités constituant le système (atomes, molécules, …) forment un arrangement régulier et sont donc fortement liées. Pour obtenir le liquide où les entités sont relativement libres de se mouvoir les unes par rapport aux autres, il faut donc casser des liaisons et cela nécessite de fournir de l'énergie au système. De même, il faut encore fournir de l'énergie pour obtenir le gaz où les entités sont quasiment sans interactions les unes avec les autres.

On se propose ici de mesurer l'enthalpie massique (ou chaleur latente) de fusion de la glace à 0°C. C'est la variation d'enthalpie de la transformation permettant à une unité de masse d'eau (1 kg avec les unités du système international) de passer de l'état solide à 0°C à l'état liquide à la même température sous pression constante (pression atmosphérique). Comme indiqué plus haut, ce transfert thermique ne provoque pas de hausse de température mais sert uniquement à rompre les liaisons, permettant ainsi le changement d'état. Elle sera notée L_f, elle est positive et exprimée en $J.kg^{-1}$. La fusion de m kg de glace à 0°C donnant m kg d'eau liquide à 0°C nécessite donc une variation d'enthalpie de $m.L_f$.

II Principe de la mesure

On dispose d'un calorimètre constitué ici d'un vase en cuivre placé dans une enceinte calorifugée garnie de polystyrène.
La vase possède une capacité thermique K et contient une masse M d'eau liquide, l'ensemble étant initialement en équilibre thermique à la température θ_i.
Une masse m de glace fondante à 0°C est introduite dans le vase à l'instant initial.
La température de l'ensemble {vase + eau} s'abaisse et atteint la valeur θ_f au nouvel équilibre thermique.
Pendant ce temps, la glace fond à 0°C, puis l'eau résultant de la fusion s'échauffe de 0°C à θ_f.
En supposant le calorimètre parfaitement adiabatique (absence de fuites thermiques vers l'extérieur), le transfert thermique total à pression constante s'identifiant à la variation d'enthalpie est nul. En déduire la relation :

$$\mathbf{L_f} = \frac{\mathbf{K + Mc}}{\mathbf{m}}(\theta_\mathbf{i} - \theta_\mathbf{f}) - \mathbf{c}(\theta_\mathbf{f} - 0)$$

Les températures θ_i, et θ_f sont exprimées en Celsius et c désigne la capacité thermique massique de l'eau liquide.

III Manipulation

* Préparer un bain de glace fondante et s'assurer à l'aide du thermomètre (se reporter à l'annexe en bas de la page 2 pour plus de détails sur le principe et l'utilisation de ce dernier) que sa température est voisine de 0°C. Il est impératif que la glace soit en équilibre avec l'eau liquide. A défaut, sa température à la sortie d'un congélateur est inférieure à cette valeur.
* A l'aide de la balance électronique, déterminer la masse m_{Cu} du vase en cuivre (sec).
* A l'aide de la tare automatique de la même balance, peser une masse M = 200 g d'eau du robinet dans ce vase.
* Placer dans l'enceinte du calorimètre le vase et son contenu. Plonger l'agitateur, placer le couvercle du calorimètre, relier le thermomètre à la carte d'acquisition et immerger son extrémité dans l'eau.
* Lancer l'acquisition pour une durée totale de 20 min en prenant une mesure toutes les 10 s.
* A l'exception d'une agitation régulière, laisser l'acquisition se dérouler pendant 10 min sans intervenir, phase nécessaire ultérieurement pour évaluer les fuites thermiques.
* Un peu avant la date t = 10 min, sécher soigneusement quelques glaçons.
* A la date t = 10 min, introduire les glaçons dans le vase contenant l'eau, tout en poursuivant l'agitation.
* Poursuivre l'acquisition jusqu'à son terme.
* Ressortir le vase de son enceinte et le peser à nouveau. En déduire la masse m des glaçons.
* En profiter pour relever l'incertitude sur la détermination des masses compte tenu de la précision de l'affichage de la balance.

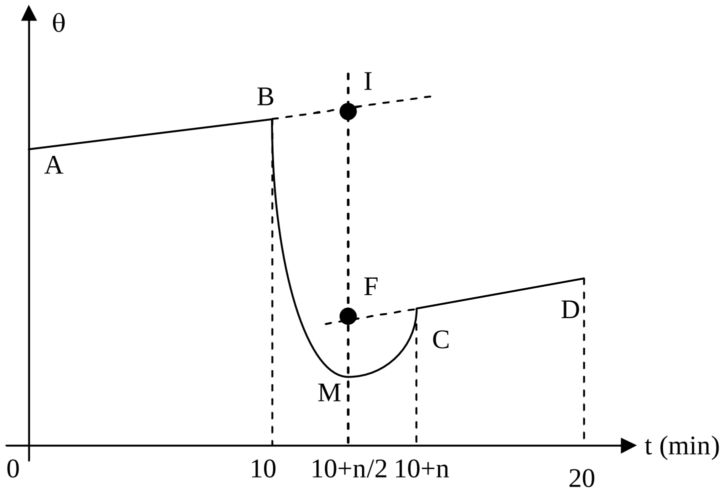
IV Exploitation des résultats

1) Détermination de la variation de température $\theta_i - \theta_f$

Il s'agit de déterminer quelle a été la diminution de température, ou plutôt ce qu'elle aurait été si le calorimètre n'avait pas de fuites thermiques. Pour cela, nous faisons un raisonnement simpliste appelé "correction simple" et qui est le suivant :

Le phénomène étudié ici est le transfert thermique entre le glaçon et l'eau liquide. Il dure de la date t = 10 min à la date t = (10 + n) min. Pendant cet intervalle de temps, les fuites thermiques ont le temps d'intervenir et représentent une importante cause d'erreur.

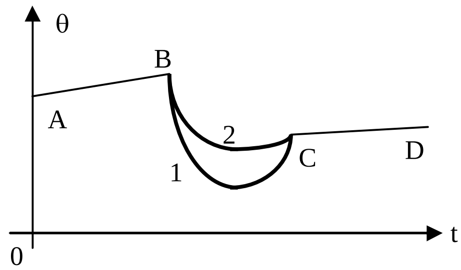
Imaginons alors que le transfert thermique se produise instantanément à la date moyenne $t = \left(10 + \frac{n}{2}\right)$ min. D'une part, la courbe de température serait alors ABIFCD (BI prolongement rectiligne de AB et FC prolongement rectiligne de CD). D'autre part, les fuites thermiques n'auraient pas le temps d'intervenir.



IF représente donc le refroidissement qui aurait lieu en l'absence des fuites thermiques, le refroidissement corrigé de cette cause d'erreur.

On prendra donc pour θ_i et θ_f les ordonnées des points I et F (et non celles des points B et M). On obtient ainsi des valeurs θ_i et θ_f corrigées des fuites thermiques.

Remarque : la construction graphique des points I et F s'appuie seulement sur les parties AB et CD; elle est indépendante de la forme de l'arc BMC. Ceci est normal, car la forme de l'arc BMC n'a qu'un intérêt secondaire : si le hasard veut que le glaçon tombe près du thermocouple, celui ci enregistre une baisse brutale de température et BMC a la forme 1; si au contraire il tombe loin, on observe une décroissance plus lente de la forme 2.



* Déterminer sur le graphe le point C où la courbe redevient pratiquement rectiligne.
* En déduire les dates 10 + n et $10 + \frac{n}{2}$.
* Construire BI et CF.
* En déduire θ_i et θ_f.

2) Calcul de l'enthapie massique de fusion de la glace

La capacité thermique massique du cuivre est c_{Cu} = 397,727 J.K^{-1}.kg^{-1}. On peut alors calculer $K = m_{Cu}\, c_{Cu}$.

La capacité thermique massique de l'eau liquide est c = 4180 J.K^{-1}.kg^{-1}.

A l'aide du bilan établi en II, calculer L_f en kJ.kg^{-1}.

3) Calcul d'incertitude

On supposera négligeables les incertitudes sur c et c_{Cu} devant les autres. On remarquera que $\Delta m = \Delta M = \Delta m_{Cu}$.

On prendra pour $\Delta\theta_i$ et $\Delta\theta_f$ les incertitudes résultant de la construction graphique.

On en déduira :

$$\Delta L_f = \left(c + c_{Cu} + \frac{K+Mc}{m}\right)\frac{\theta_i - \theta_f}{m}\Delta m + \frac{K+Mc}{m}\Delta\theta_i + \left(c + \frac{K+Mc}{m}\right)\Delta\theta_f$$

Calculer numériquement ΔL_f et en déduire un encadrement de L_f.

Comparer à la valeur tabulée $L_f = 333$ kJ.kg^{-1} (on veillera à ne pas confondre l'incertitude expérimentale ΔL_f sur L_f avec l'écart entre la valeur expérimentale et la valeur tabulée).