

Activité sur la calorimétrie

Dans le cadre des modules en première scientifique

par Charles DALHA
Lycée Jules Haag - 25000 Besançon

OBJET DE L'ARTICLE

Première approche des phénomènes physiques accompagnant un transfert de chaleur et diverses méthodes de calorimétrie.

1. INTRODUCTION

Cette activité est une première prise de contact en ce qui concerne la chaleur (elle mériterait d'être conduite avant de traiter la leçon correspondante) :

1 - Cette activité permet d'introduire la terminologie spécifique à la calorimétrie par la mise en évidence des deux effets de transfert de la chaleur :

– *Élévation de température sans changement d'état* (cela correspond à la capacité thermique massique C de la substance).

– *Changement d'état sans élévation de température* (on invoque la chaleur latente de fusion ou de phase L_f).

2 - Elle permet aussi de faire la distinction entre chaleur et température à partir de l'interprétation microscopique : en effet à chaque température correspond un état déterminé des trois agitations particulières (vibration ; rotation et agitation électronique dans le cas des métaux) auxquelles les particules sont soumises et la chaleur qu'il faut fournir pour élever la température à volume constant correspond à l'énergie d'agitation supplémentaire que le corps doit acquérir.

L'élévation ΔT de température est de ce fait proportionnelle à la quantité de chaleur reçue. La quantité de chaleur Q peut donc se déduire de cette élévation ΔT que l'on sait mesurer (avec les dispositifs modernes, la mesure de T n'est pas effectuée avec un thermomètre. En

fait, un enregistreur permet la lecture d'une longueur l - mesurée en millimètre - directement proportionnel à T).

3 - Elle constitue une des approches du concept de conservation de l'énergie d'un système isolé : lorsqu'il y a échange de chaleur entre deux systèmes de corps solides ou liquides faisant partie d'un ensemble isolé, la somme des quantités de chaleur reçues par l'un des systèmes est égale à la somme des quantités de chaleur perdues par l'autre (ceci constitue une application du premier principe de la thermodynamique à la quantité de chaleur).

4 - En marge des phénomènes indiqués ci-dessus on fait développer chez l'élève d'autres éléments de la culture scientifique ; à savoir :

a - Dans une démarche scientifique de ce type, il est nécessaire de ne faire varier qu'un seul paramètre à la fois.

b - On introduit les notions telles que la densité, les phases (solide-liquide), etc.

c - On traite le problème du salage de la chaussée en exploitant le principe de la cryoscopie : abaissement de la température de solidification de la glace.

Rappel : La présence d'un soluté abaisse en général la température de solidification d'un solvant. En effet, si l'on verse du sel (NaCl) sur la glace, de la glace fond, le sel s'y dissout et la température d'équilibre est celle qui correspond à l'équilibre glace-sel-solution. En ajoutant encore du sel on peut diminuer T jusqu'à une certaine limite correspondant à la saturation du sel (mélange eutectique). On peut ainsi réaliser toute température comprise entre 0°C et $T_E = -21^\circ\text{C}$.

Remarque : Dans le cas de l'ébulliométrie, il y a élévation de la température d'ébullition de la solution par rapport à celle du solvant.

d - On peut faire l'historique des thermomètres à cause du 0°C et 100°C ; valeurs constantes de changements d'état de l'eau. Cela a inspiré le Suédois Celcius (professeur de la faculté d'Upsala). Il s'agit d'une idée géniale par sa simplicité.

Remarque : La réalisation d'un thermomètre pourrait faire l'objet d'un module.

e - Éventuellement d'autres points.

2. ACTIVITÉ PROPOSÉE

On considère deux systèmes : un solide s de masse m_s à la température initiale T_{is} et un liquide l de masse m_l à la température initiale T_{il} . On les place dans un récipient thermiquement isolé (on dit aussi enceinte adiabatique).

Voici le schéma de principe (figure 1) (en annexe on trouve quelques exemples de calorimètres utilisés pour mesurer des quantités de chaleur).

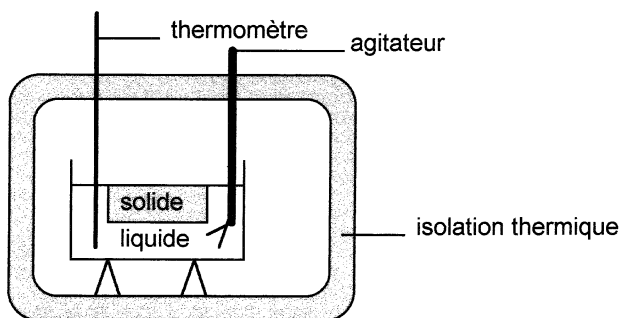


Figure 1

Le thermomètre permet de mesurer les températures T_i et T_f du liquide.

Pour toutes les analyses qualitatives, on suppose que :

- la pression à l'intérieur du calorimètre reste constante au cours des échanges de chaleur,
- la température de la glace fondante à la pression indiquée est de 0°C ,
- le volume de l'ensemble reste constant,
- le système est isolé : pas d'échange de chaleur avec le milieu extérieur.

On propose les situations suivantes :

Situations	Paramètres initiaux	Analyse
1 glace eau liquide	$m_s = 10 \text{ g}$ $T_{is} = -10^\circ\text{C}$ $m_l = 100 \text{ g}$ $T_{il} = 20^\circ\text{C}$	$T_{fl} = 11.5^\circ\text{C}$
2 glace eau liquide	$m_s = 10 \text{ g}$ $T_{is} = -10^\circ\text{C}$ $m_l = 100 \text{ g}$ $T_{il} = 40^\circ\text{C}$	
3 glace eau liquide	$m_s = 10 \text{ g}$ $T_{is} = -18^\circ\text{C}$ $m_l = 100 \text{ g}$ $T_{il} = 20^\circ\text{C}$	
4 glace eau liquide	$m_s = 100 \text{ g}$ $T_{is} = -10^\circ\text{C}$ $m_l = 100 \text{ g}$ $T_{il} = 20^\circ\text{C}$	
5 glace eau liquide	$m_s = 10 \text{ g}$ $T_{is} = 0^\circ\text{C}$ $m_l = 100 \text{ g}$ $T_{il} = 20^\circ\text{C}$	
6 glace eau liquide	$m_s = 10 \text{ g}$ $T_{is} = -10^\circ\text{C}$ $m_l = 200 \text{ g}$ $T_{il} = 20^\circ\text{C}$	
7 glace eau liquide	$m_s = 200 \text{ g}$ $T_{is} = -10^\circ\text{C}$ $m_l = 100 \text{ g}$ $T_{il} = 20^\circ\text{C}$	
8 eau liquide cuivre	$m_s = 10 \text{ g}$ $T_{is} = -10^\circ\text{C}$ $m_l = 100 \text{ g}$ $T_{il} = 20^\circ\text{C}$	

Situations	Paramètres initiaux	Analyse
9 eau liquide fer	$m_s = 10 \text{ g}$ $T_{is} = -10^\circ\text{C}$ $m_l = 100 \text{ g}$ $T_{il} = 20^\circ\text{C}$	
10 huile fer	$m_s = 10 \text{ g}$ $T_{is} = -10^\circ\text{C}$ $m_l = 100 \text{ g}$ $T_{il} = 20^\circ\text{C}$	
11 (représenter la glace) eau salée	$m_s = 10 \text{ g}$ $T_{is} = -10^\circ\text{C}$ $m_l = 100 \text{ g}$ $T_{il} = 20^\circ\text{C}$	
12 (représenter la glace) alcool	$m_s = 10 \text{ g}$ $T_{is} = -10^\circ\text{C}$ $m_l = 100 \text{ g}$ $T_{il} = 20^\circ\text{C}$	

1 - Évaluer les températures finales du solide (!) et du liquide au bout d'un temps assez grand (c'est-à-dire **à l'équilibre thermique**) : donner un encadrement le plus étroit possible de ces températures (on peut faire apparaître T_{fl} de la première situation dans cet encadrement ; T_{fl} étant préalablement donné).

2 - Décrire les différentes étapes subies par les deux substances pour arriver à cet équilibre thermique.

Nota : on peut envisager ensuite :

- une vérification expérimentale,
- une vérification par le calcul.

Annexe

Principes de mesures calorimétriques

(réf : chaleur par M. JOYAL - Éditions : Masson)

On distingue trois méthodes principales de mesure des quantités de chaleur :

1 - Méthode des mélanges (méthodes à température variable) : la quantité de chaleur Q sert à chauffer ou à refroidir une masse de capacité thermique connue dont on repère les températures initiale et finale.

Pour les mesures aux températures inférieures à 100°C , on utilise un **calorimètre de Berthelot** contenant de l'eau dans le vase calorimétrique C. Ce vase repose sur des pointes de liège isolantes ; le vase A et le récipient D protègent le calorimètre C contre les apports de chaleur de l'extérieur et réduisent les pertes.

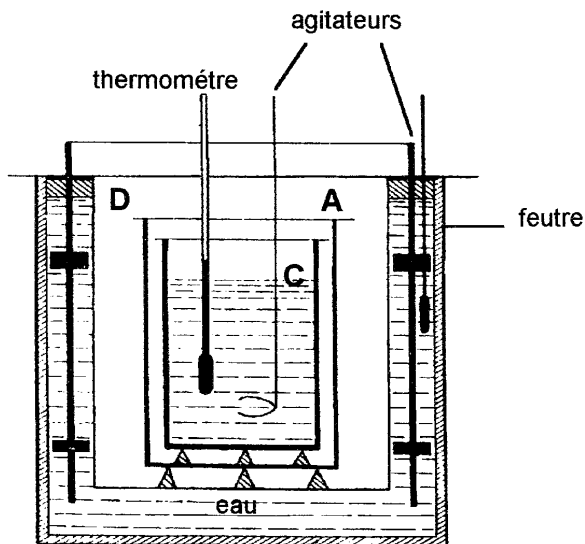


Figure 2 : Calorimètre de Berthelot (Chimiste français, 1827-1956).

Pour les mesures aux hautes températures, on utilise un **calorimètre métallique** dont le corps calorimétrique est un bloc A d'argent ou d'aluminium. La mesure de la température se fait avec un couple thermoélectrique. Le bloc A est placé dans un vase Dewar ce qui assure un bon isolement thermique.

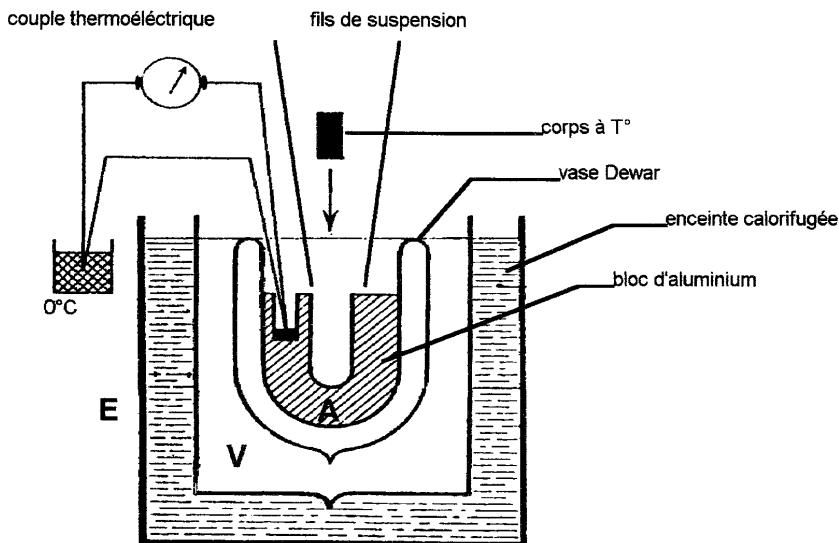


Figure 3 : Calorimètre d'Arsonval-Dewar.

(Arsonval : physicien français, 1851-1940 ; Dewar : chimiste et physicien, écossais, 1842-1923).

2 - Méthode électrique

Elle consiste à utiliser la chaleur dégagée par effet Joule.

La méthode électrique est très utilisée pour la mesure des chaleurs massiques. On emploie le **calorimètre de Keesom** : pour faire une mesure à la température de l'air liquide par exemple, on place dans le vase Dewar de l'air liquide. Le corps A, dont on veut mesurer la chaleur massique, contient une spirale de chauffage N isolée électriquement de A. Par contact avec le cône d'argent C, le corps A prend la température de l'air liquide. On soulève A et ainsi ce corps, placé dans le vide, est isolé thermiquement.

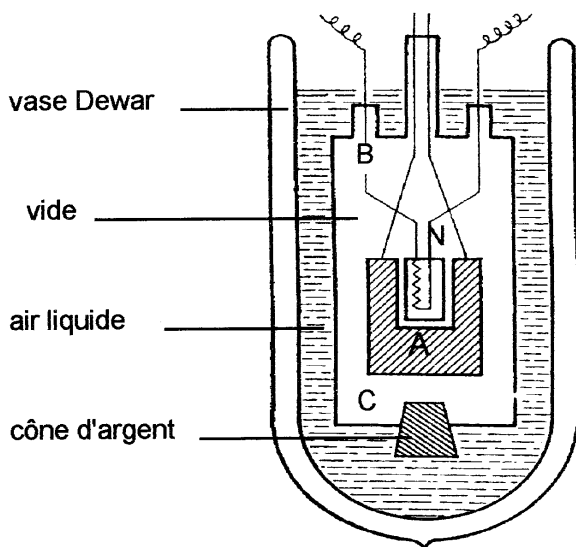


Figure 4 : Calorimètre de Keesom (Physicien français, 1876-1956).

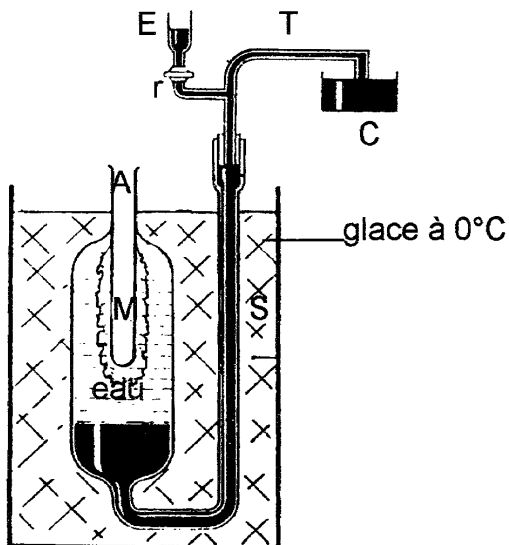


Figure 5 : Calorimètre de Bunsen (Physicien et chimiste français, 1811-1899).

3 - *Méthode basée sur les changements d'état*

Cette méthode, qui utilise un phénomène à température constante, est affranchie de l'emploi d'un thermomètre. Dans la méthode du **calorimètre de Bunsen**, le changement d'état utilisé est la fusion de la glace.

L'appareil comprend un moufle M relativement étroit et profond sur la paroi duquel on a fait former un mamelon de glace en contact avec de l'eau liquide. Le réservoir qui entoure le moufle contient de l'eau pure en contact, à la partie inférieure, avec du mercure qui remplit le bas du réservoir, et le tube de raccordement T ; ce dernier plonge dans le mercure d'une coupelle C. Tout l'appareil est plongé dans une enceinte à 0°C (voir figure 5).

On peut également citer :

- **le calorimètre de Jolly** (physicien allemand, 1870-1953) : la quantité de chaleur Q sert à produire le changement de phase - liquide $\rightarrow$ vapeur - à température constante,
- **le calorimètre de Junkers** (industriel allemand, 1859-1935) : il sert à la détermination de la chaleur de combustion des gaz,
- **le calorimètre efficace de Laplace** (physicien, astronome, mathématicien français, 1749-1827) : elle permet de vérifier la loi de Laplace dans le cas des gaz parfaits,
- **méthode calorimétrique de Nernst** (chimiste et physicien allemand, 1864-1941) : elle est adaptée à la mesure des chaleurs spécifiques C des solides.

REMERCIEMENTS

Ce document n'aurait pas pu voir le jour sans le concours de Fabienne BATAILLE (lycée Sainte Marie - 90000 BELFORT) dans le cadre d'un stage MAFPEN à Besançon.

Je remercie également vivement Nicole KLINTEBACK (lycée Jules Haag - 25000 BESANÇON) pour les critiques constructives qu'elle a bien voulu faire lorsque cet article était en cours de rédaction.