

CORRECTION DU TP15. TRANSFERTS THERMIQUES

III. DETERMINATION DE LA CAPACITE THERMIQUE DU CALORIMETRE.

Objectif : Déterminer la capacité thermique C du calorimètre en $J \cdot ^\circ C^{-1}$ (on utilisera cette valeur dans la suite du TP).

1) Manipulation :

Matériel : Calorimètre, agitateur, thermomètre, Eau chaude, eau froide, éprouvette graduée de 200 mL, plaque chauffante, béchers en Pyrex®

Préparer une masse $m_1 \approx 140$ g d'eau froide. Relever la température initiale θ_1 de l'eau froide.

Faire chauffer de l'eau dans un bécher en Pyrex® (attendre l'ébullition). **Introduire une masse $m_2 = 160$ g de cette eau très chaude** dans le calorimètre. Introduire le volume correspondant avec l'éprouvette graduée. Attendre l'équilibre thermique et relever la température θ_2 .

• **Verser rapidement l'eau froide dans le calorimètre.** Fermer le calorimètre. Agiter légèrement pour mélanger. Relever la température finale θ_e lorsque l'équilibre thermique final est atteint.

2) Exploitation des résultats :

Question 1 : Quel est l'intérêt de métalliser la face intérieure du « calorimètre », alors que les métaux sont plutôt de bons conducteurs de chaleur ?

Le calorimètre est fabriqué de telle façon qu'il y ait très peu d'échanges de chaleur avec l'extérieur : enceinte quasi adiabatique (isolée thermiquement). Les 2 vases cylindriques sont en aluminium et sont isolés l'un de l'autre par une couche d'air. La face intérieure du calorimètre est en aluminium.

- Température uniforme sur toute la surface intérieure du calorimètre.
- Echange de chaleur efficace au sein du calorimètre. Les 3 modes de transfert de chaleur peuvent coexister :

• la conduction:

La conduction est la propagation de la chaleur de la partie chaude vers la partie froide, sans déplacement macroscopique de matière. Elle se fait à l'intérieur du calorimètre (parois solide) : transmission de la chaleur du calorimètre aux mélanges d'eau.

• la convection:

La convection est la propagation de la chaleur dans un fluide en mouvement. L'agitation thermique se transmet de proche en proche dans la matière de la zone chaude, moins dense vers la zone froide. La zone chaude s'élève et laisse la place au fluide plus froid. La convection correspond à un déplacement macroscopique de la matière. La transmission de chaleur par convection se fait de l'eau chaude vers l'eau froide.

• le rayonnement:

Le rayonnement est l'émission par tout corps d'ondes électromagnétiques qui sont les vecteurs de ce transfert de chaleur. Les ondes sont émises dans toutes les directions et appartiennent au domaine de l'infrarouge et du visible. Aucun support matériel n'est nécessaire pour leur propagation. Le rayonnement est favorisé par le fait que la paroi intérieure du calorimètre est brillante : grâce aux réflexions sur les parois métalliques du calorimètre, la chaleur est répartie plus uniformément au sein du liquide.

Complément : Pour tous les modes de transfert de chaleur, on définit la **puissance thermique** (ou **flux thermique**) φ (en W) comme la quantité de chaleur Q (en J) traversant une surface

isotherme S (en m^2) pendant le temps Δt (en s). $\varphi = \frac{Q}{\Delta t}$

Question 2 : Définir chaque système étudié c'est à dire les « objets » qui vont dégager ou absorber de la chaleur pendant l'expérience ?

- Système global S {eau chaude + eau froide + calorimètre}
- Le système chaud S_2 : {l'eau chaude introduite + calorimètre} va céder une quantité de chaleur $Q_2 < 0$ (l'eau chaude est initialement introduite dans le calorimètre).
- Le système froid S_1 : {eau initialement froide}
L'eau froide va capter une quantité de chaleur $Q_1 > 0$

• *Le système étudié est un système isolé (aucun échange avec l'extérieur). Le calorimètre est une enceinte adiabatique.*

Question 3 : Donner l'expression de la quantité de chaleur dégagée ou absorbée par chacun de ces objets.

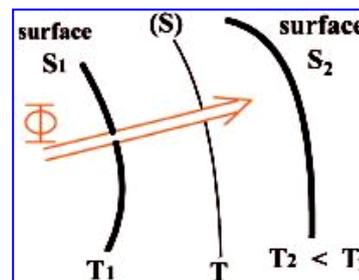
- Quantité de chaleur reçue par l'eau froide : $m_1 = 140$ g = 0,140 kg ; La température de l'eau froide augmente de $\theta_1 = 20^\circ C$ à $\theta_e = 58^\circ C$. Donc : $Q_1 = m_1 \cdot c_e \cdot (\theta_e - \theta_1)$
- Quantité de chaleur cédée par l'eau chaude: $m_2 = 160$ g = 0,160 kg . Température initiale de l'eau chaude : $\theta_2 = 89^\circ C$. Température finale lorsque l'équilibre est atteint : $\theta_e = 58,0^\circ C$. En tenant compte du calorimètre $Q_2 = m_2 \cdot c_e \cdot (\theta_e - \theta_2) + C \cdot (\theta_e - \theta_2)$
- Comme le calorimètre est une enceinte adiabatique, tout ce qui se trouve à l'intérieur est isolé thermiquement : la somme des quantités de chaleur échangées à l'intérieur du calorimètre est nulle : $\Delta U = Q_1 + Q_2 = 0$

Question 4 : Déterminer la variation d'énergie interne du système lorsque l'état final d'équilibre du système (température finale lorsque eau chaude et eau froide sont dans le calorimètre). Ecrire l'équation calorimétrique (relation existant entre les quantités de chaleur échangées à l'intérieur du calorimètre), le système étant isolé thermiquement.

L'énergie interne d'un système macroscopique résulte de contributions microscopiques : $U = E_c$ (microscopique) + E_p (microscopique). Ici, il n'y a pas d'échange d'énergie avec le milieu extérieur (ni sous forme de travail W , ni sous forme de chaleur Q), on peut écrire : $\Delta U = W + Q = 0$: le système est isolé (c'est-à-dire s'il y a aucun échange avec le milieu extérieur), l'énergie interne reste constante, la variation d'énergie interne est nulle donc $\Delta U = 0$.

Lorsque l'état final d'équilibre est atteint : $\Delta U = 0$ soit $Q_1 + Q_2 = 0$

L'équation calorimétrique est donc : $m_1 \cdot c_e \cdot (\theta_e - \theta_1) + m_2 \cdot c_e \cdot (\theta_e - \theta_2) + C \cdot (\theta_e - \theta_2) = 0$



Question 5 : En déduire la capacité thermique C du calorimètre en $J.°C^{-1}$ (ou $J.°K^{-1}$). On utilisera cette valeur dans la suite du TP).

Données : Capacité thermique massique de l'eau : $c_e = 4,18.10^3 J.kg^{-1}.K^{-1}$, $\rho_{eau} = 1000 kg.m^{-3} = 1 kg.L^{-1}$.

De l'équation calorimétrique, on tire C : $m_1.c_e(\theta_e - \theta_1) + m_2.c_e(\theta_e - \theta_2) = C(\theta_2 - \theta_e)$ Donc :

$$C = \frac{m_1.c_e(\theta_e - \theta_1) + m_2.c_e(\theta_e - \theta_2)}{\theta_2 - \theta_e}$$

A.N.: $C = \frac{140.10^{-3} \times 4,18.10^3 \times (58 - 20) + 160.10^{-3} \times 4,18.10^3 \times (58 - 89)}{89 - 58} = 49 J.°K^{-1}$

$C = 49 J.°K^{-1}$ (ou $C = 49 J.°C^{-1}$)

IV. DETERMINATION DE LA CAPACITE THERMIQUE MASSIQUE DE L'ALUMINIUM

Objectif : déterminer la capacité thermique massique thermique de l'aluminium à partir des transferts thermiques entre 2 systèmes S_1 et S_2 .

1) Manipulation :

Matériel : Calorimètre de capacité thermique C déterminée précédemment, agitateur, thermomètre, cylindre d'aluminium, éprouvette graduée de 200 mL, eau très chaude, balance.

2) Protocole :

On prélève 400 mL d'eau froide que l'on met dans le calorimètre. Attendre l'équilibre thermique. On relève la température initiale θ_1 de cette masse m_1 d'eau.

On note m_2 la masse de l'objet en aluminium (masse à déterminer). On chauffe au bain-marie cette masse d'aluminium. Au bout de 10 minutes dans l'eau bouillante, on considère que l'aluminium est à la température θ_2 de l'eau très chaude. Relever la valeur de θ_2 . Très rapidement, sortir le morceau de métal et le plonger dans le calorimètre. Fermer le calorimètre. Agiter légèrement pour mélanger. Relever la température finale θ_e du nouvel équilibre thermique.

3) Résultats et interprétation :

Question 1 : Définir le système étudié c'est à dire les objets qui vont dégager ou absorber de la chaleur pendant l'expérience ?

- Système global considéré : {eau froide + calorimètre + aluminium}. Ce système est isolé.
- Le système chaud S_2 : {objet en aluminium initialement chaud}.
- Le système froid S_1 : {eau initialement froide + calorimètre}

Question 2 : Etablir le bilan énergétique du système final.

On donne l'expression de la quantité de chaleur dégagée ou absorbée par chacun de ces objets.

- Q_2 est la quantité de chaleur cédée par le bloc d'aluminium de masse $m_2 = 122,6 g$. On a trouvé : $\theta_2 = 80°C$; $Q_2 = m_2.c_{Al}(\theta_e - \theta_2) < 0$
- Q_1 la quantité de chaleur captée par l'eau froide de masse $m_1 = 400 g$ et le calorimètre de capacité thermique $C = 49 J.K^{-1}$ (voir III):
 $Q_1 = (m_1.c_e + C).(\theta_e - \theta_1) > 0$ (La température initiale de l'eau froide était $\theta_1 = 20 °C$).

- Bilan énergétique du système final. Après avoir introduit eau froide et bloc d'aluminium chaud dans le calorimètre, on a obtenu : $\theta_e = 24°C$.

Comme le système est isolé {eau froide + calorimètre + aluminium}, il n'y a pas de variation d'énergie interne donc $\Delta U = 0$.

Lorsque l'état final d'équilibre est atteint : $\Delta U = 0$ soit $Q_1 + Q_2 = 0$

soit l'équation calorimétrique : $(m_1.c_e + C).(\theta_e - \theta_1) + m_2.c_{Al}(\theta_e - \theta_2) = 0$.

Question 3 : En déduire la capacité thermique massique c_{Al} du métal.

De l'équation calorimétrique on tire c_{Al} : On a $(m_1.c_e + C).(\theta_e - \theta_1) = m_2.c_{Al}(\theta_2 - \theta_e)$

$$c_{Al} = \frac{(m_1.c_e + C).(\theta_e - \theta_1)}{m_2(\theta_2 - \theta_e)}$$

A.N. : $c_{Al} = \frac{(400.10^{-3} \cdot 4,18 \times 10^3 + 49).(24 - 20)}{122,6.10^{-3} (80 - 24)} = 1003 J.kg^{-1}.K^{-1}$

$$c_{Al-exp} = 1003 J.kg^{-1}.K^{-1}$$

Question 4 : Calculer l'écart relatif. Identifier toutes les sources d'erreur lors de la détermination de c_{Al} .

Sources d'erreur : - Le calorimètre imparfait (enceinte pas tout à fait adiabatique) ;

- la précision des volumes d'eau prélevés à l'éprouvette graduée et donc la précision des masses correspondantes,

- les échanges de chaleur entre l'aluminium et l'air ambiant : le temps pour transporter l'aluminium et le mettre dans le calorimètre (entraînant une perte de chaleur) ;

- la lecture de la température sur le thermomètre (stabilisation de la température) ;

- Remarque : la mesure de la masse de l'aluminium avec la balance est assez précise.

La valeur attendue (lue dans les tables thermodynamiques) est $c_{Al} = 920 J.kg^{-1}$; calculer l'écart relatif

$$\text{Ecart relatif} = \frac{|c_{Al-exp} - c_{Al-table}|}{c_{Al-table}} \times 100 = \frac{1003 - 920}{920} \times 100 = 9 \%$$

Ecart plausible compte tenu des nombreuses sources d'erreurs possibles.