

MESURE D'UNE CAPACITÉ THERMIQUE - corrigé du TP

1. Correction des transferts de chaleur parasites

• On considère qu'en bonne approximation les transferts parasites avec l'extérieur sont décrits par un "flux thermique" de la forme : $\frac{\delta Q}{dt} = A + B \cdot (T - T_e)$ où T_e est la température extérieure.

• Si la température varie de façon affine : $T = T_i + \alpha t$ (où la notation simplifiée t désigne en fait $t - t_i$), le transfert de chaleur parasite correspond à :

$$Q_e = \int_{t_i}^{t_f} A + B \cdot (T_i - T_e + \alpha t) dt = \Delta t \cdot [A + B \cdot (T_i - T_e)] + B \alpha \frac{1}{2} (\Delta t)^2.$$

Mais par ailleurs $T_f = T_i + \alpha \Delta t$ donc :

$$Q_e = \Delta t \frac{1}{2} [A + B \cdot (T_i - T_e)] + \Delta t \frac{1}{2} [A + B \cdot (T_f - T_e)] = \Delta t \frac{1}{2} (P(T_i) + P(T_f)).$$

En outre, l'expression du flux $P(T)$ étant affine :

$$\frac{(T_i - T_e) + (T_f - T_e)}{2} = \frac{T_i + T_f}{2} - T_e ; Q_e = \Delta t \frac{P(T_i) + P(T_f)}{2} = \Delta t P\left(\frac{T_i + T_f}{2}\right).$$

• Le bilan thermodynamique avec correction peut s'écrire : $\Delta U = W + Q_e$; par linéarité des équations, on peut le décomposer en deux étapes, la première correspondant au cas idéal $\Delta U_{id} = W$ ensuite seulement suivie d'une perturbation $\Delta U_e = Q_e$. La variation correspondante de la température est alors $\Delta \theta$ telle que $\Delta U_e = C \Delta \theta = Q_e$; ainsi $\Delta \theta \approx \frac{Q_e}{C}$ (cela n'est qu'approximatif car les flux des fuites thermiques dépendent de la température et celle-ci ne varierait pas linéairement dans un tel processus, mais l'écart n'est que du second ordre).

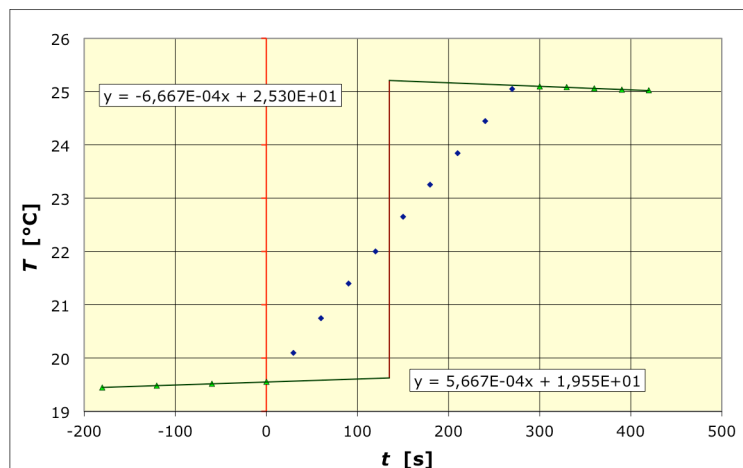
♦ remarque : si la variation de T est effectivement à peu près affine pour le chauffage électrique, l'approximation est plus grossière pour la méthode des mélanges.

2. Manipulation

2.1. Capacité thermique de l'eau et méthode du chauffage électrique

• On réalise le montage avec une résistance chauffante $R \approx 5 \Omega$; la résistance dépend un peu de la température et il importe surtout de mesurer la tension $\mathcal{U} = 11,5 \pm 0,02 \text{ V}$ et le courant $I = 2,30 \pm 0,05 \text{ A}$.

Le calorimètre et les autres parties d'aluminium ont une masse $m_0 = 71,0 \pm 0,2 \text{ g}$; on y ajoute l'eau et on repèse pour connaître par différence la masse d'eau $m_2 = 288,0 \pm 0,2 \text{ g}$.



♦ remarque : les températures sont ici mesurées avec des thermomètres de haute précision.

• Pour corriger les fuites thermiques, on ajuste des droites sur les mesures avant et après chauffage ; leur prolongement jusqu'au milieu de la durée du chauffage donne une estimation de l'effet de la puissance moyenne des fuites (cela revient à calculer quelles seraient les températures aux limites si le travail électrique W avait été fourni instantanément, donc sans fuite).

On obtient une variation $\Delta T = 5,55 \pm 0,05 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en une durée $\Delta t = 270 \pm 6 \text{ s}$; la variation corrigée des fuites est $\Delta T = 5,58 \pm 0,05 \text{ }^{\circ}\text{C}$ donc la correction est pratiquement négligeable (inférieure aux incertitudes).

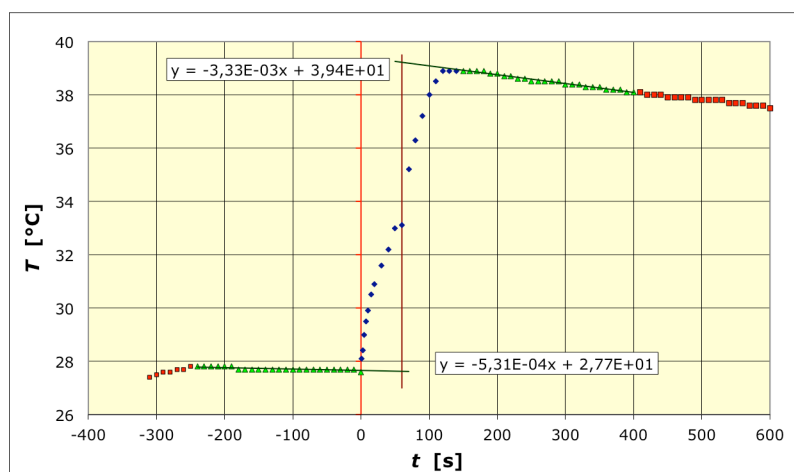
♦ remarque : on obtient assez généralement une correction négligeable en procédant symétriquement par rapport à la température extérieure, ce qui peut se faire en refroidissant préalablement un peu le dispositif (en le posant sur des glaçons).

• Le travail électrique est $W = U I \Delta t = 7140 \pm 330 \text{ J}$; la capacité thermique de l'aluminium est $C_0 = c_0 m_0$ avec une capacité thermique massique $c_0 = 0,897 \pm 0,005 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ (d'après les tables de données) donc $C_0 = 63,7 \pm 0,5 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$; la capacité thermique de l'eau est $C_2 = \frac{W}{\Delta T} - C_0 = 1216 \pm 70 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ et sa capacité thermique massique est $c_2 = \frac{C_2}{m_2} = 4,22 \pm 0,25 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$.

Le résultat est correct mais peu précis avec un seul résultat d'expérience (très peu d'étudiants parviennent à faire plusieurs mesures ; l'efficacité de l'organisation inter-groupes est insuffisante).

2.2. Capacité thermique des métaux et méthode des mélanges

• On prépare un bloc de fer de masse $m_2 = 510,2 \pm 0,2 \text{ g}$ à une température $T_2 = 80 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (dans un bain d'eau chaude à température connue, c'est toutefois la principale cause d'incertitude). On prépare un calorimètre (plus l'agitateur) en aluminium de masse $m_0 = 99,0 \pm 0,2 \text{ g}$ contenant une masse $m_1 = 166,8 \pm 0,2 \text{ g}$ d'eau (on pèse le calorimètre pendant le remplissage, ce qui permet de contrôler la masse d'eau par différence).



• Pour corriger les fuites thermiques, on ajuste des droites sur les mesures avant et après chauffage ; leur prolongement jusqu'au milieu de la durée du chauffage donne une estimation de l'effet de la puissance moyenne des fuites (cela revient à calculer quelles seraient les températures aux limites si le travail électrique W avait été fourni instantanément, donc sans fuite).

On obtient pour l'eau et le calorimètre une variation $\Delta T_{01} = 11,3 \pm 0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$; la variation corrigée des fuites est $\Delta T_{01} = 11,5 \pm 0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ donc la correction est pratiquement négligeable (inférieure aux incertitudes).

On obtient pour le fer une variation $\Delta T_2 = -40,8 \pm 2,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (incertitude importante principalement à cause des fuites thermiques lors du transvasement initial du bloc, bien qu'on procède le plus rapidement possible, car sa température est alors très différente de celle extérieure).

• On en déduit la capacité thermique du bloc de métal : $C_2 = -(C_0 + C_1) \frac{\Delta T_{01}}{\Delta T_2} = 222 \pm 21 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$; ceci correspond à une valeur massique : $c_2 = 0,436 \pm 0,040 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ (tout à fait comparable aux valeurs tabulées) et à une valeur molaire : $C_{2m} = 24,3 \pm 2,3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ hélas de précision modeste, mais compatible avec la loi de Dulong et Petit.

♦ remarque : les étudiants n'ont pas transmis d'autres mesures pour améliorer la précision ou pour comparer à d'autres métaux ; la principale difficulté est l'organisation entre groupes de TP.