

1) Montage :

- materiel:

- calorimètre
- balance
- thermocouple
- cuillère
- eau liquide

{
materiel général

- glace

- métal

{
fusion de la
glace

018.1

{
capacité thermique
des métaux

- manipulations possibles:

On commence toujours par déterminer la masse en eau du calorimètre.

Puis on peut:

- soit déterminer la chaleur de fusion de la glace.
- soit déterminer la capacité thermique d'un métal.

2) Masse en eau du calorimètre:

• On met une masse m_1 d'eau à température T_1 (environ T_{amb}) dans le calorimètre.

On attend 5 min pour que le calorimètre se thermalise.

Après cette étape on considère que le calorimètre est à T_1 .

• On ajoute de l'eau chaude (mais pas bouillante → pour éviter ébullition?) à T_2 , une masse $m_2 \approx m_1$.

• On ferme le calorimètre, on mélange.

On suit la température et stabilise (pendant de 30s) puis redescend (peut-être) jusqu'à T_f .

EXPLORATION:

masse en eau du calorimètre.

$$(m_1 + \mu) c_{\text{eau}} (T_f - T_1) + m_2 c_{\text{eau}} (T_f - T_2) = 0$$

$\underbrace{(m_1 + \mu) c_{\text{eau}}}_{\text{Qcalo} + \text{Qeau froid}} \underbrace{(T_f - T_1)}_{\text{Qeau chaude}} + \underbrace{m_2 c_{\text{eau}}}_{\text{adiabatique}} \underbrace{(T_f - T_2)}_{\text{Qeau froid}} = 0$

$$c_{\text{eau}} = 4,185 \text{ kJ/kg/K}$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{c_{\text{eau}} (m_2 (T_f - T_2) - m_1 (T_f - T_1))}{c_{\text{eau}} (T_f - T_1)}$$

3) Chaleur latente de fusion de la glace:

- On remplit le calorimètre d'une masse m_1 d'eau à T_1 par thermalier le calorimètre.
- On ajoute de la glace sèche \rightarrow masse m_{glace} à $T_{\text{glace}} = 0^\circ\text{C}$
- Puis on ajoute de l'eau chaude \rightarrow masse m_2 à T_2

Rémarque: Essayer de faire $T_2 - T_1 \approx T_1 - T_{\text{glace}}$ car: quand on ajoute de la glace le calo vent se réchauffer donc flux ext \rightarrow int calo, mais quand on ajoute l'eau chaude le calo vent se refroidir donc flux int \rightarrow ext calo. Pour les masses en théorie peut importante mais on prend $m_{\text{glace}} \oplus$ peut avoir une proportion de glace sèche maximale.

- On relève T_f quand toute la glace a fondu et qu'on a atteint l'équilibre.

Rémarque: on essaye que $m_{\text{tot}} \approx m_{\text{max}}$ dans le calo et que ça soit aussi le cas pour la détermination de μ .

EXPLORATION:

$$(m_1 + \mu) c_{\text{eau}} (T_f - T_1) + m_2 c_{\text{eau}} (T_f - T_2) + L m_1 + \underbrace{m_{\text{glace}} c_{\text{eau}} (T_f - T_{\text{glace}})}_{\text{glace fondu se réchauffe.}} = 0$$

$\underbrace{(m_1 + \mu) c_{\text{eau}}}_{\Delta \text{Heau+calo}} \underbrace{(T_f - T_1)}_{\Delta \text{Heau chaude}} + \underbrace{m_2 c_{\text{eau}}}_{\text{char+}} \underbrace{(T_f - T_2)}_{\text{d'état}} + \underbrace{L m_1}_{\text{glace fondue}} + \underbrace{m_{\text{glace}} c_{\text{eau}} (T_f - T_{\text{glace}})}_{\text{glace fondu se réchauffe.}} = 0$

$$\Rightarrow L = c_{\text{eau}} \times \frac{m_2 (T_2 - T_f) + m_{\text{glace}} (T_{\text{glace}} - T_f) + (m_1 + \mu) (T_1 - T_f)}{m_1}$$

4) Calcul des incertitudes :

$$\Delta T_f + \bar{\Delta T}_f$$

$$+ m_2 + \Delta m_2$$

$$\Delta T_1 + \bar{\Delta T}_1$$

$$+ m_1 + \Delta m_1$$

$$\Delta T_2 + \bar{\Delta T}_2$$

$$\boxed{\mu = m_2 \frac{T_f - T_2}{T_f - T_1} - m_1}$$

$$\Delta \mu^2 = \Delta m_1^2 + \left(\frac{T_f - T_2}{T_f - T_1} \right)^2 \Delta m_2^2 + \left(\frac{m_2}{T_f - T_1} \right)^2 \bar{\Delta T}_2^2 + \left(m_2 \frac{T_f - T_2}{(T_f - T_1)^2} \right)^2 \bar{\Delta T}_1^2$$

$$+ \left(m_2 \frac{T_2 - T_1}{(T_f - T_1)^2} \right)^2 \bar{\Delta T}_f^2$$

$$\Delta m_1 + \Delta m_1$$

$$\Delta T_1 + \bar{\Delta T}_1$$

$$\mu + \Delta \mu$$

$$\Delta m_2 + \Delta m_2$$

$$\Delta T_2 + \bar{\Delta T}_2$$

$$\Delta m_{gl} + \Delta m_{gl}$$

$$\Delta T_f + \bar{\Delta T}_f$$

$$L = \text{c}_{\text{eau}} \frac{A}{m_1}$$

$$\begin{aligned} (\Delta L)^2 &= \left(\text{c}_{\text{eau}} \cdot \frac{(T_1 - T_f) m_2 - A}{m_1^2} \Delta m_1 \right)^2 + \left(\frac{T_{\text{place}} - T_f}{m_1} \text{c}_{\text{eau}} \Delta m_{gl} \right)^2 + \left(\text{c}_{\text{eau}} \frac{T_2 - T_f}{m_2} \Delta \mu \right)^2 \\ &+ \left(\text{c}_{\text{eau}} \frac{T_2 - T_f}{m_1} \Delta m_2 \right)^2 + \left(\text{c}_{\text{eau}} \frac{m_2 \Delta T_2}{m_2} \right)^2 + \left(\text{c}_{\text{eau}} \frac{(m_1 + \mu) \Delta T_1}{m_2} \right)^2 \\ &+ \left(\text{c}_{\text{eau}} \frac{-m_2 - m_{gl} - (m_1 + \mu) \Delta T_f}{m_1} \right)^2 \end{aligned}$$

5) Calculs divers:

1^{er} ppe: $\Delta U = W + Q$: $dU = TdS - PdV$

$H = U + PV$: $dH = dU + PdV + VdP$
 $dH = TdS + VdP$

2nd ppe: $S = S_{\text{ext}} + \underbrace{\frac{Q}{T}}_{=0 \text{ si reversible}}$ $\Rightarrow dH = TS_{\text{ext}} + SQ + VdP$

A pression constante: $dP = 0$

Dans le calorimètre: transf adiabatique
réversible?

$$\Rightarrow dH = 0$$

Or $dH = Cp dT = \rho m dT$

TP n°2 CALORIMETRIE I (THERMODYNAMIQUE)

Objectifs du TP n°1

Ce TP comporte deux manipulations, soient :

1. Détermination de la valeur en eau du calorimètre.
2. Détermination de la chaleur spécifique d'un échantillon métallique.

Définitions

Calorimétrie :

La calorimétrie est une opération permettant de mesurer les quantités de chaleurs échangées au cours de transformations subis par le système, ainsi que la détermination des capacités calorifiques.

Calorimètre :

Le calorimètre est un récipient adiabatique utilisé dans les différentes opérations de calorimétrie.

Valeur en eau du calorimètre:

En calorimétrie, la valeur en eau du calorimètre, est la masse d'eau fictive μ qui a la même capacité calorifique que le calorimètre.

$$m_{\text{calorimètre}} \cdot C_{\text{calorimètre}} = \mu \cdot C_{\text{eau}}$$

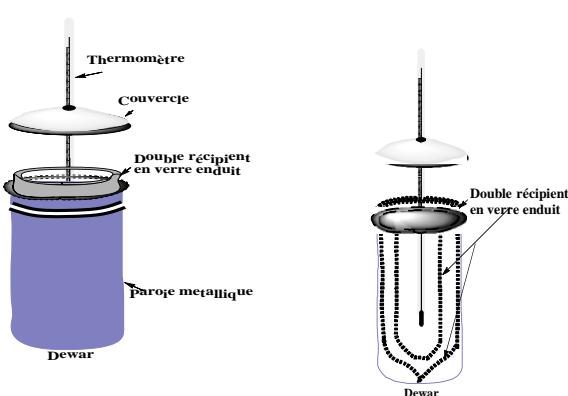
La valeur en eau du calorimètre est une caractéristique du calorimètre, elle doit être déterminée expérimentalement et sera utilisée pour l'ensemble des manipulations.

$$C_{\text{eau}} = 4185 \text{ J/Kg/K}$$

Description du calorimètre adiabatique:

Un calorimètre adiabatique (ex: type Berthelot) est constitué de :

1 Vase en matériaux isolants (ex: vase Dewar*) 2 Thermomètre 3 Agitateur



* Vase Dewar: Le vase se compose de deux récipients imbriqués dont les parois isolantes sont en verre, séparées par du vide.

Le quasi-vide empêche tout transfert de chaleur par conduction et convection.

La surface intérieure du récipient externe et la surface externe du récipient intérieur, ont un enduit réfléchissant métallique pour empêcher la chaleur d'être transmise par radiation. De l'argent est le plus souvent employé à cette fin.

Première manipulation : Détermination de la valeur en eau μ du calorimètre.

Principe

Le calorimètre est un système adiabatique (pas d'échange de chaleur avec l'extérieur) $\Rightarrow Q = 0$.

On met une masse m_1 d'eau à la température T_1 , on ajoute une autre quantité m_2 d'eau à une température T_2 . De la chaleur va passer de l'eau chaude vers l'eau froide et vers le calorimètre. L'équilibre s'établit, on enregistre la température finale T_F .

En vertus du premier principe de la thermodynamique

$$Q_{\text{calorimètre}} + Q_{\text{eau}(1)} + Q_{\text{eau}(2)} = 0$$

Soit

$$Q_{\text{calorimètre}} = m_{\text{calorimètre}} \cdot C_{\text{calorimètre}} (T_F - T_1) = \mu \cdot C_{\text{eau}} \cdot (T_F - T_1)$$

$$Q_{\text{eau}(1)} = m_1 \cdot C_{\text{eau}} \cdot (T_F - T_1)$$

$$Q_{\text{eau}(2)} = m_1 \cdot C_{\text{eau}} \cdot (T_F - T_2)$$

Premier mode opératoire

- Introduire dans le calorimètre une masse d'eau $m_1 = 80 \text{ g}$ (environ) à la température ambiante T_1 . Le calorimètre est lui-même à la température T_1 . Mesurer cette température, pendant deux minutes, en prenant la température chaque 30 secondes (4 valeurs successives).
- Ajouter une seconde masse d'eau $m_2 = 60 \text{ g}$ préalablement portée à la température $T_2 = 65^\circ\text{C}$.
- Agiter le mélange et prendre la température à intervalle régulier (toutes les 30 secondes) attendre que le système soit à l'équilibre thermique (3 à 4 valeurs de température constantes). Reporter les valeurs dans un tableau. Tracer la courbe de variation de la température en fonction du temps.

Deuxième manipulation:

Détermination de la chaleur spécifique d'un échantillon métallique

Principe

On introduit dans le calorimètre une masse d'eau m_1 à la température ambiante T_1 qui est la même température du calorimètre.

On lui ajoute l'échantillon de masse m_2 et de température T_2 , on attend l'équilibre et la température finale.
 On applique le premier principe de la thermodynamique au système :

$$\{\text{Calorimètre} + \text{Masse d'eau} + \text{Echantillon}\}$$

Le calorimètre est un système adiabatique (pas d'échange de chaleur avec l'extérieur) $\Rightarrow Q_{\text{total}} = 0$.

$$Q_{\text{calorimètre}} + Q_{\text{eau}} + Q_{\text{échantillon}} = 0$$

Avec

$$Q_{\text{calorimètre}} = \mu \cdot C_{\text{eau}} \cdot (T_F - T_1)$$

$$Q_{\text{eau}} = m_1 \cdot C_{\text{eau}} \cdot (T_F - T_1)$$

$$Q_{\text{échantillon}} = m_2 \cdot C_{\text{échantillon}} \cdot (T_F - T_2)$$

Deuxième mode opératoire

- Introduire dans le calorimètre une masse d'eau $m_1=180 \text{ g}$ environ à la température ambiante T_1 . Le calorimètre est lui-même à la température T_1 . Mesurer la température à intervalles de temps régulières.
- Plonger une pièce métallique de masse m_2 (à déterminer en utilisant la balance) dans de l'eau portée à ébullition, et la maintenir suspendue à l'aide d'une pince ou une tenaille pendant au moins 5 minutes, pour acquérir une température de 100°C . éviter le contact échantillon métallique avec la plaque chauffante.
- Introduire la pièce métallique chauffée à 100°C dans le calorimètre.
- Agiter le mélange, et prendre la température à intervalles réguliers. Reporter dans le tableau n°2 le résultat des mesures.

Compte rendu du TP n°2

Nom. Prénom. groupe_ . . . sous groupe.

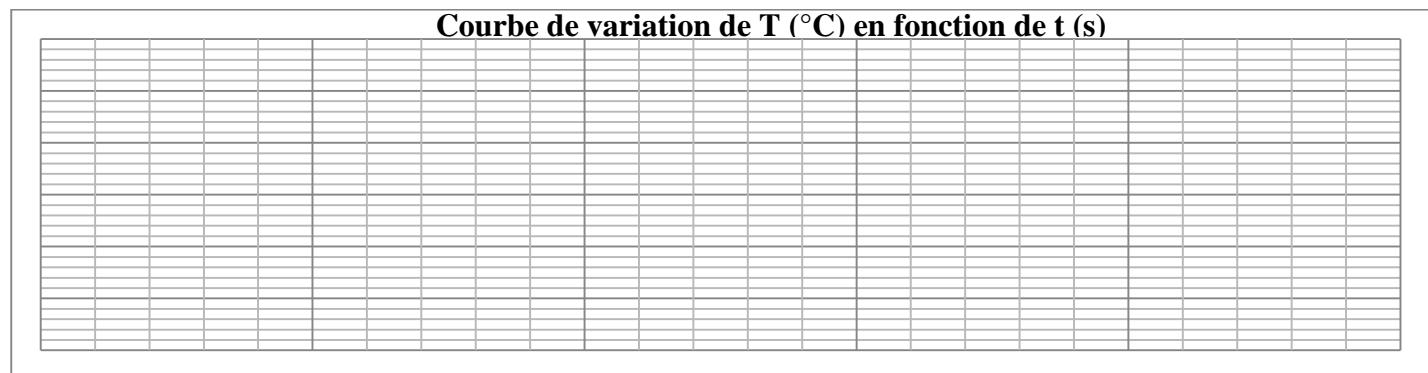
But de la manipulation n°1
.

Quantités de chaleurs mises en jeu:
.

Equation bilan détaillée du premier principe:
.

Tableau-1 : première manipulation, variation de la température en fonction du temps.

t (s)												
T (°C)												



Expression littérale de μ .

.

Température initiale : Température de l'eau chaude:

Température finale :

Masse de l'eau froide Masse de l'eau chaude

Valeur en eau μ du calorimètre (en kg)

.

But de la deuxième manipulation :

.....

Masse de l'eau

Valeur en eau du calorimètre

Masse de la pièce métallique

$$m_{\text{eau}} = m_1 =$$

$$\mu =$$

$$m_{\text{métal}} = m_2 =$$

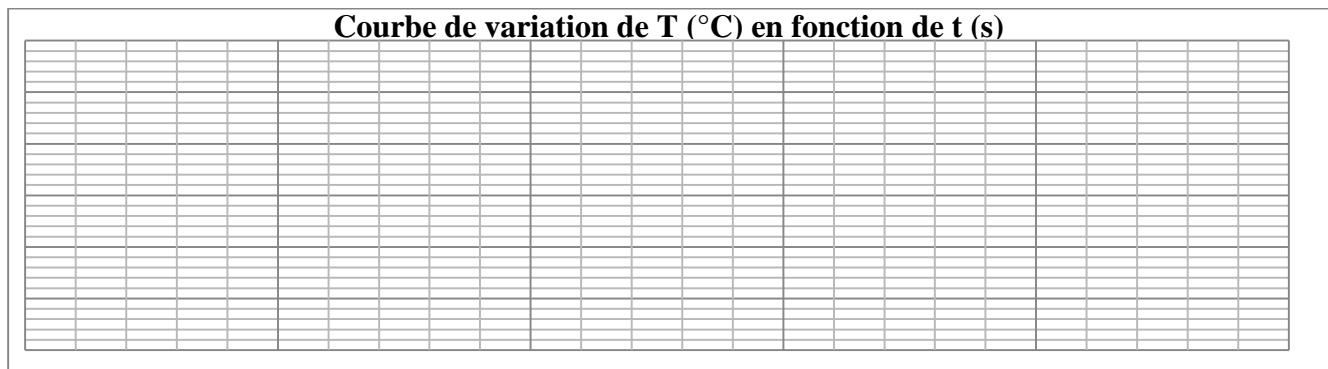
Bilan calorimétrique (équation)

Ecrire l'équation bilan après avoir cité la contribution calorifique de chaque constituant

.....

Tableau-2 : deuxième manipulation, variation de la température en fonction du temps.

t (s)												
T (°C)												



Température calorimètre + eau

$$T_c = T_e$$

Température de la pièce métallique

$$T_m =$$

Température finale

$$T_f \text{ (graphique)} =$$

Ecrire l'expression analytique de $C_{\text{métal}}$ (Capacité calorifique de la pièce métallique) :

.....

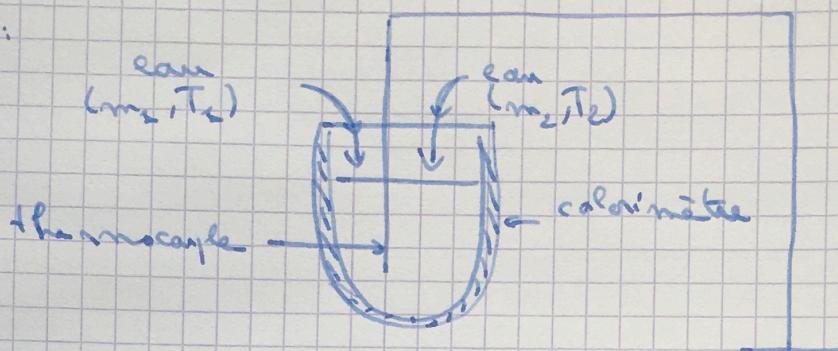
A partir de la mesure de T_f , déterminer la valeur de la capacité calorifique massique du métal $C_{\text{métal}}$ (en J/Kg/°K).

.....

Détermination de la capacité calorifique du calorimètre

On cherche à calculer la valeur en eau (la masse calorifique équivalente en eau) d'un calorimètre.

Schéma:



On mesure une température T_g à l'équilibre.

Données:

$$m_1 = 179,18 \text{ g}$$

$$T_1 = 23,6^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 184 \text{ g}$$

$$T_2 = 87^\circ\text{C}$$

$$T_g = 52,5^\circ\text{C}.$$

Interprétation:

On affecte un bilan thermique pour le système {eau + calorimètre}

On suppose la transformation adiabatique. Alors

$$\Delta H_g - H_i = C_{m_1} (T_g - T_1) + C_{m_2} (T_g - T_2) + C_{m_{calo}} (T_g - T_2)$$

où m_{calo} est la masse équivalente eau du calorimètre.

D'où

$$m_{calo} = \frac{m_1 (T_g - T_1) + m_2 (T_g - T_2)}{(T_g - T_2)} = 40,5 \text{ g} = m_{calo}$$

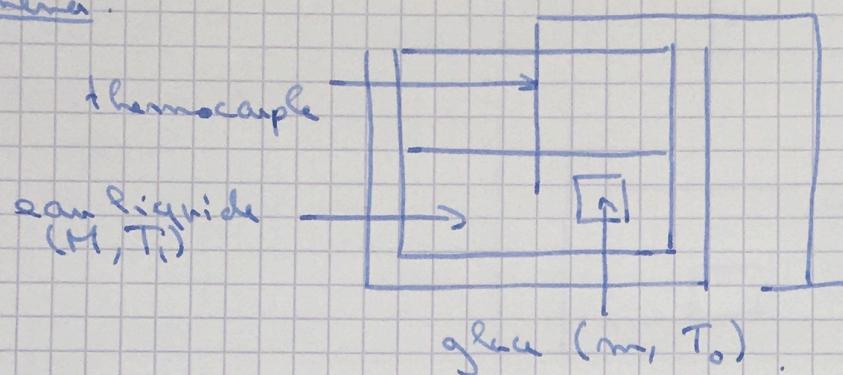
La capacité calorifique du calorimètre est donc

$$C_{calorimètre} = C_{m_{calo}} = 169 \text{ J.g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = C_{calorimètre}.$$

Détermination de la chaleur latente de fusion de l'eau par calorimétrie

On cherche à mesurer la chaleur latente de fusion de l'eau par l'étude calorimétrique de la glace.

Schéma:



Observations:

$$M = 363 \text{ g}$$

$$m = 23,3 \text{ g}$$

$$T_0 = 0^\circ\text{C}$$

$$T_i = 50,9^\circ\text{C}$$

$$\text{Température finale } T_f = 46^\circ\text{C}$$

Interprétation: On fait un bilan thermodynamique pour le système eau, glace, calorimètre

On considère la transformation adiabatique. D'après le premier principe:

$$0 = C_e(T_f - T_i) + M C_e(T_f - T_i) + m L_f + m c(T_f - T_0)$$

d'où

$$L_f = \frac{(C_e + M C_e)(T_i - T_f) - m c(T_f - T_0)}{m}$$

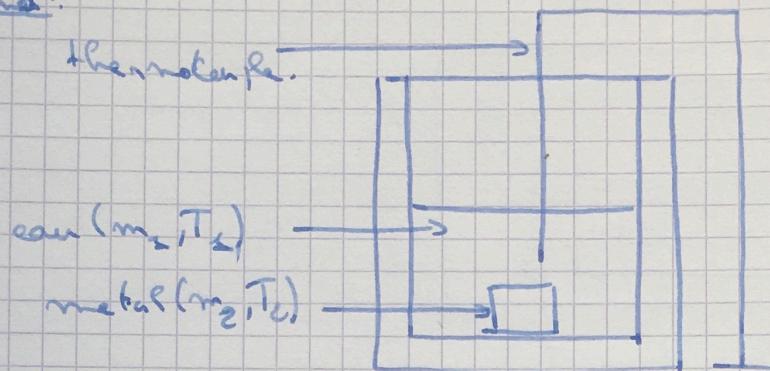
On obtient $L_f = 162 \text{ J.g}^{-1}$

Cette valeur est du même ordre de grandeur que la valeur théorique $L_f = 333 \text{ J.g}^{-1}$ mais traduit tout de même des incertitudes sur les mesures.

Détermination de la capacité thermique de différents métals

On va déterminer la capacité thermique du cuivre.

Schéma:



Mesures: Dans la cuire.

$$m_1 = 190 \text{ g.}$$

$$m_2 = 79,62 \text{ g.}$$

$$T_1 = 23^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 88,4^\circ\text{C}$$

Température à l'équilibre $T_g = 29,3^\circ\text{C}$ (met longtemps à s'établir
on a peut-être pas attendu assez longtemps)

Interprétation:

On fait un bilan thermodynamique pour le système {eau+ métal + calorimètre}.

On suppose la transformation adiabatique. Alors, d'après le premier principe

$$0 = H_g - H_i = C_{m_1}(T_g - T_1) + C_{cuire} m_2(T_g - T_2) + C_{calorimètre}(T_g - T)$$

où C_{cuire} est la capacité thermique massique du cuivre.

$C_{calorimètre}$ est la capacité thermique du calorimètre.

Donc $C_{cuire} = \frac{(C_{m_1} + C_{calorimètre})(T_g - T_1)}{(T_2 - T_g)m_2}$

On obtient $C_{cuire} = 1,3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ Le résultat ne correspond pas du tout à la valeur théorique.

La valeur théorique est $C_{cuire,th} = 385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. En utilisant cette valeur dans le calcul, on obtient une température finale théorique $T_{g,th} = 25,4^\circ\text{C}$, plus basse que la valeur expérimentale. L'erreur provient donc des mesures de masses ou de températures initiales et non de température finale.