Corrigé de l'EC6: Préparation au TP de calorimétrie

Énoncé

On dispose d'un calorimètre constitué d'un vase intérieur et d'un agitateur Le tout ayant une capacité calorifique C. Les transferts thermiques sont négligeables entre le vase extérieur et le contenu du calorimètre.

A. Le calorimètre est initialement rempli d'une masse m_1 d'eau de capacité thermique massique c_1 à la température θ_1.

   Une résistance est immergée dans l'eau du calorimètre. La capacité thermique de la résistance est considérée négligeable. La résistance est branchée en série avec un générateur et un interrupteur. Initialement le circuit est ouvert et la résistance est à la température θ_1.

   Au temps $t = 0$, on ferme le circuit. La tension à ses bornes est U et l'intensité du courant qui la traverse est I.

   Montrer que la courbe représentant les variations de la température θ du liquide en fonction du temps est une portion de droite, dont on déterminera le coefficient directeur a_1 en fonction de m_1, c_1, C et P (puissance électrique reçue par la résistance).

   En déduire en fonction de m_1, a_1, C, U et I l'expression de c_1,

B. Le calorimètre est initialement rempli d'une masse m_1 d'eau de capacité thermique c_1 à la température θ_1. On y plonge une masse m_2 de cuivre de capacité thermique massique c_2 à la température θ_2.

   À l'équilibre, l'eau dans le calorimètre est la température θ_3.

   Donner l'expression de c_2 en fonction de m_1, m_2, θ_1, θ_2, θ_3, c_1 et C.

   Si l'on plonge une barre en métal chauffée à blanc dans de l'eau à température ambiante. Combien de temps environ doit-on laisser la barre en métal avant de pouvoir la toucher à mains nues ?

Correction

A. Il existe deux façons de résoudre cet exercice en fonction du système considéré.

   1. Considérons le système { eau + calorimètre + agitateur }
      Dans l'état initial, le système est à la température θ_1 et dans l'état final, le système est à la température θ.
      La transformation étant isobare, on a, d'après le premier principe pour une transformation isobare, $\Delta H_{tot} = Q$.
      H est extensive, donc $\Delta H_{tot} = \Delta H_{eau} + \Delta H_{calorimetre+agitateur}$.
      En supposant que l'eau, le calorimètre et l'agitateur se comportent comme des phases condensées purement thermiques, on a $\Delta H_{eau} = m_1 c_1 (T_f - T_i)$ et $\Delta H_{calorimetre+agitateur} = C(T_f - T_i)$.
      Entre l'état final et l'état initial, on a donc $m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + C(\theta - \theta_1) = Q$.
      Le vase intérieur du calorimètre étant isolé de l'extérieur le transfert thermique s'effectue seulement entre l'eau et la résistance. Par effet Joule, la résistance recevant un courant électrique de puissance $P = UI$ le convertit en puissance thermique. La résistance étant de capacité thermique négligeable, cette puissance thermique ne sert pas à chauffer la résistance mais est entièrement fournie à l'eau.
      En supposant que la puissance thermique est constante (on le vérifiera expérimentalement), on a $Q = \displaystyle\int_{initial}^{final} P dt = Pt$.
      On a donc $(m_1 c_1 + C)(\theta - \theta_1) = Pt$.
      Finalement $\theta(t) = \theta_1 + \frac{P}{m_1 c_1 + C} t$.
      Puisque θ_1, P, m_1, c_1 et C sont des constantes du temps, on trouve bien que $\theta(t)$ est une portion de droite de pente $a_1 = \frac{P}{m_1 c_1 + C}$.
      On a donc $m_1 c_1 + C = \frac{P}{a_1}$.
      Finalement $c_1 = \frac{P}{m_1 a_1} - \frac{C}{m_1} = \frac{UI}{m_1 a_1} - \frac{C}{m_1}$.

2. Considérons le système { eau + calorimètre + agitateur + résistance }

   Dans l'état initial, le système est à la température θ_1 et dans l'état final, le système est à la température θ.

   La transformation étant isobare, on a, d'après le premier principe pour une transformation isobare, $\Delta H_{tot} = Q + W_{el}$ avec W_{el} le travail des forces électriques. (On notera que dans la méthode précédente, le travail des forces électriques est nul car aucun courant ne traverse le système considéré).

   H est extensive, donc $\Delta H_{tot} = \Delta H_{eau} + \Delta H_{calorimetre+agitateur} + \Delta H_{resistance}$.

   En supposant que l'eau, le calorimètre, l'agitateur et la résistance se comportent comme des phases condensées purement thermiques, on a $\Delta H_{eau} = m_1 c_1 (T_f - T_i)$, $\Delta H_{calorimetre+agitateur} = C(T_f - T_i)$ et $\Delta H_{resistance} = 0$ car la capacité thermique de la résistance est supposé nulle.

   Entre l'état final et l'état initial, on a donc $m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + C(\theta - \theta_1) = Q + W_{el}$.

   Le vase intérieur du calorimètre étant isolé de l'extérieur, il n'y a pas de transfert thermique avec l'extérieur du système $Q = 0$.

   En supposant que la puissance électrique est constante (on le vérifiera expérimentalement), on a $W_{el} = \displaystyle\int_{initial}^{final} P dt = Pt$.

   On a donc $(m_1 c_1 + C)(\theta - \theta_1) = Pt$.

   Finalement $\theta(t) = \theta_1 + \frac{P}{m_1 c_1 + C} t$.

   Puisque θ_1, P, m_1, c_1 et C sont des constantes du temps, on trouve bien que $\theta(t)$ est une portion de droite de pente $a_1 = \frac{P}{m_1 c_1 + C}$.

   On a donc $m_1 c_1 + C = \frac{P}{a_1}$.

   Finalement $c_1 = \frac{P}{m a_1} - \frac{C}{m_1} = \frac{UI}{m a_1} - \frac{C}{m_1}$.

B. Considérons le système { eau + calorimètre + agitateur + cuivre }

Dans l'état initial, l'eau, le calorimètre et l'agitateur sont à la température θ_1, le cuivre est à la température θ_2 et dans l'état final, le système est à la température θ_3.

La transformation étant isobare, on a, d'après le premier principe pour une transformation isobare, $\Delta H_{tot} = Q$.

H est extensive, donc $\Delta H_{tot} = \Delta H_{eau} + \Delta H_{calorimetre+agitateur} + \Delta H_{cuivre}$.

En supposant que l'eau, le calorimètre, l'agitateur et le cuivre se comportent comme des phases condensées purement thermiques, on a $\Delta H_{eau} = m_1 c_1 (\theta_3 - \theta_1)$, $\Delta H_{calorimetre+agitateur} = C(\theta_3 - \theta_1)$ et $\Delta H_{cuivre} = m_2 c_2 (\theta_3 - \theta_2)$.

Entre l'état final et l'état initial, on a donc $m_1 c_1 (\theta_3 - \theta_1) + C(\theta_3 - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta_3 - \theta_2) = Q$.

Le vase intérieur du calorimètre étant isolé de l'extérieur, il n'y a pas de transfert thermique avec l'extérieur du système $Q = 0$.

On a donc $(m_1 c_1 + C)(\theta_3 - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta_3 - \theta_2) = 0$.

Finalement $c_2 = \frac{C + m_1 c_1}{m_2} \frac{\theta_3 - \theta_1}{\theta_2 - \theta_3}$.

Pour ce qui est de la dernière question, je vous laisse vous renseignez par vous même. Je peux vous conseiller d'aller voir des vidéos de forge sur internet, notamment le moment de la trempe, pour vous faire un avis sur la question. On attend ici un ordre de grandeur et non une valeur exacte.