TP Physique 07 **BCPST 1C**

Détermination de l'enthalpie massique de fusion de l'eau

L'enthalpie massique de fusion de l'eau est l'énergie qu'il faut fournir à 1 kg *d'eau solide pour qu'elle devienne liquide à une pression et à une température donnée. Dans les tables, il est par exemple mentionné que pour une pression de* 1,00 bar*, la température de fusion de la glace vaut* 0 °C *et son enthalpie massique de fusion vaut* $\Delta h_{fusion} = 333\ kJ.kg^{-1}$. *On se propose de retrouver expérimentalement cette valeur dans ce TP.*

I- PROTOCOLE EXPERIMENTAL

⏩ *Démonter l'intégralité du calorimètre en mémorisant dans quel ordre sont disposés les différents éléments.*

⏩ *S'assurer que le vase en aluminium est bien propre et sec puis peser celui-ci :* ➡ m_{Al} = ______________

⏩ *A l'aide d'une éprouvette graduée, prélever environ 200 mL d'eau distillée « à température ambiante » puis verser celle-ci dans le vase en aluminium (et pas dans le vase Dewar !!!). Peser alors l'ensemble :* ➡ m_B = ______________

⏩ *Adapter le joint en caoutchouc autour du vase en aluminium, disposer l'ensemble sur le vase Dewar (attention, fragile !), poser le couvercle avec l'agitateur mécanique puis obturer le couvercle avec un bouchon.*

⏩ *Plonger la sonde de température dans le vase (il faut éviter que celle-ci touche le fond – si besoin, la surélever) et, si ce n'est pas déjà fait, la connecter à la carte d'acquisition.*

⏩ *Ouvrir le logiciel Latis Pro : un onglet « TEMPERATURE » doit apparaître aux côtés des différentes voies* EA1, EA2, EA3 *…*

• *Dans « Acquisition », choisir « Temporelle » et régler les 3 paramètres d'acquisition de la façon suivante :*

Nombre de points : <u>200</u> ; Durée s'écoulant entre chaque mesure : T_e = <u>5 s</u> ; Durée totale de l'enregistrement : T_{Total} = <u>17 min</u>

• *Lancer l'acquisition avec la touche* **F10**.

⏩ *Dès le lancement de l'acquisition, agiter régulièrement le contenu du calorimètre en soulevant et en abaissant l'agitateur mécanique pour homogénéiser le système pendant environ 3 minutes.*

⏩ *Pendant ce temps, à la paillasse du professeur, déposer un bécher en plastique sur la balance et tarer celle-ci. Placer alors entre 20 et 30 grammes de glaçons prélevés dans un thermos où ils ont en équilibre avec de l'eau liquide.*

⏩ *A votre paillasse, essuyer rapidement les glaçons avec du papier et les introduire tout aussi rapidement dans le calorimètre. Observer l'évolution de la température.*

⏩ *Une fois l'acquisition terminée (on pourra éventuellement écourter celle-ci en appuyant sur la touche ECHAP), sortir le vase en aluminium du calorimètre sans vider l'eau qu'il contient et peser l'ensemble :* ➡ m_C = ______________

⏩ *Repérer graphiquement les différentes températures suivantes à l'aide de l'outil « Réticule » ou « Pointeur » (on les obtient en faisant un click droit sur la fenêtre d'acquisition) :*

• *Température* T_1 *de l'eau froide et du calorimètre, juste avant introduction des glaçons :* ➡ T_1 = ______________

• *Température* T_F *la plus basse atteinte par le mélange :* ➡ T_2 = ______________

⏩ *Démonter le dispositif, vider le contenu du vase en aluminium à l'évier et, avant de remonter l'ensemble, veiller à ce qu'il n'y ait pas d'eau dans le vase Dewar (sinon, l'éponger délicatement avec du papier Sopalin).*

II- EXPLOITATION DES RESULTATS

Lors du précédent TP, nous avions expliqué que le calorimètre avait beau être parfaitement calorifugé, il n'était pas idéal, c'est-à-dire qu'il peut effectuer des transferts thermiques avec ce qu'il contient, ce qui doit être pris en compte pour l'exploitation des expériences. Pour simplifier, nous allons ici considérer que seul le vase en aluminium de masse m_{Al} et de capacité thermique massique $c_{Al} = 895\ J.K^{-1}.kg^{-1}$ contribue à ces échanges thermiques.

Dans la suite, on étudie le système {vase en aluminium + eau froide + glaçons}, macroscopiquement au repos et on va lui appliquer le 1er principe de la thermodynamique sous sa forme enthalpique.

✍**1-** Justifier qu'on puisse ici appliquer le premier principe de la thermodynamique sous sa forme enthalpique.

✍**2-** Que vaut la variation d'enthalpie du système lors de cette étude ? Justifier chaque simplification.

✍**3-** Quelle précaution expérimentale permet d'affirmer que la température à laquelle les glaçons ont été introduits dans le calorimètre vaut $T_G = 0$ °C ?

✍**4-** Proposer un chemin en 4 étapes décrivant l'évolution du système depuis l'état initial jusqu'à l'état final : pour chaque étape, indiquer la température, l'état physique et la masse de chaque sous-partie du système.

✍**5-** Pour chacune de ces étapes, exprimer la variation d'enthalpie du système en fonction d'une ou plusieurs des données suivantes : m_{Al}, m_B, m_C, c_{Al}, c_{EAU}, T_1, T_2, T_G, Δh_{fusion} où c_{EAU} est la capacité thermique massique de l'eau (valeur à connaître) et Δh_{fusion} est l'enthalpie massique de fusion de l'eau pour P = 1,00 bar.

✍**6-** En déduire l'expression de Δh_{fusion} en fonction de m_{Al}, m_B, m_C, c_{Al}, c_{EAU}, T_1, T_2 et T_G. Faire l'application numérique.

Dans la suite, pour simplifier, on notera Δh_{fusion} **= L**. Suite aux différentes manipulations, la valeur de **L** déterminée expérimentalement est assortie d'une incertitude **u(L)** qui est reliée aux différentes incertitudes suivantes :

$u(m_{Al})$ = incertitude sur la masse **m_{Al}** du vase en aluminium ;
$u(m_B)$ = incertitude sur la masse **m_B** du vase en aluminium + de l'eau liquide introduite ;
$u(m_C)$ = incertitude sur la masse **m_C** du vase en aluminium + de l'eau liquide introduite + des glaçons introduits ;
$u(T_1)$ = incertitude sur la température **T_1** de l'eau froide et du vase en aluminium juste avant l'introduction des glaçons ;
$u(T_2)$ = incertitude sur la température **T_2** la plus basse atteinte par le système ;

Mais le calcul de **L** réalisé à la question **6-** n'étant pas simple, la détermination de la valeur de **u(L)** via l'utilisation des formules de propagation des incertitudes va s'avérer être une tâche très complexe ! Tout comme dans le *TP de Physique 06*, nous allons donc utiliser la ***méthode de simulation de Monte-Carlo*** pour y remédier.

✍**7-** Cette simulation nécessite de définir des intervalles dans lesquels seront tirées au sort les valeurs de m_{Al}, m_B, m_C, T_1 et T_2. Indiquer pour cela ce que valent les demi-étendues $a(m_{Al})$, $a(m_B)$, $a(m_C)$, $a(T_1)$ et $a(T_2)$ de ces intervalles.

** Demi-étendues :* *- la demi-étendue des températures mesurées via la sonde Latis-Pro vaut 0,3 °C (valeur annoncée par la notice de la sonde).*
- sans notice, la demi-étendue d'une grandeur mesurée avec un appareil à affichage numérique correspond au plus petit digit affiché par cet appareil.

Pour réaliser ces 1000 simulations, nous allons utiliser le programme Python disponible sur le lien suivant :
https://colab.research.google.com/drive/1ZRAKNynDWpmrV6FVBJOdwse_6DVc8ZG7

✍**8-** Compléter le fichier Python sur ce lien ainsi que dans les différents cadres ci-dessous.

```
# Importation des bibliothèques utiles :
import numpy as np                          # Pour faire des calculs, des tableaux …
import matplotlib.pyplot as plt             # Pour tracer des graphiques
……………………………………………………………………………   # Pour générer des nombres aléatoires sous l'alias rd

# Définition des grandeurs physiques :
mAl = …………     # Renseigner la valeur du vase en aluminium (en kg)
mB = …………      # Renseigner la valeur de la masse du vase en aluminium + de l'eau froide (en kg)
mC = …………      # Renseigner la valeur de la masse du vase en aluminium + de l'eau froide + des glaçons (en kg)
T1 = …………      # Renseigner  la valeur de la température initiale de l'eau froide et du calorimètre (en °C)
T2 = …………      # Renseigner  la valeur de la température finale du système (en °C)
TG = …………      # Renseigner  la valeur de la température initiale des glaçons (en °C)
cE = …………      # Renseigner la valeur de la capacité thermique massique de l'eau (en J/K/kg)
cAl = …………     # Renseigner la valeur de la capacité thermique massique de l'aluminium (en J/K/kg)

# Définition des demi-étendues estimées :
a_m = …………     # Renseigner la valeur de la demi-étendue estimée pour les masses mAl, mB et mC (en kg)
a_T = …………     # Renseigner la valeur de la demi-étendue estimée pour les températures T1 et T2 (en °C)

# Saisie du nombre N d'expériences numériques à simuler pour la méthode de Monte-Carlo :
N = 1000        # Renseigner le nombre d'expériences à simuler

# Tirage de valeurs des grandeurs physiques mesurées :
mAls = ………………………………………………………………   # Formule qui permet de simuler N valeurs de mAl dans l'intervalle [mAl – a(m) ; mAl + a(m)]
mBs = ………………………………………………………………    # Formule qui permet de simuler N valeurs de mB dans l'intervalle [mB – a(m) ; mB + a(m)]
mCs = ………………………………………………………………    # Formule qui permet de simuler N valeurs de mC dans l'intervalle [mC – a(m) ; mC + a(m)]
T1s = ………………………………………………………………    # Formule qui permet de simuler N valeurs de T1 dans l'intervalle [T1 – a(T) ; T1 + a(T)]
T2s = ………………………………………………………………    # Formule qui permet de simuler N valeurs de T2 dans l'intervalle [T2 – a(T) ; T2 + a(T)]

# Formule pour calculer l'enthalpie massique de fusion de l'eau à partir de c_eau, c_Al et des valeurs simulées mAls, mBs, mCs, T1s et T2s :
L = ……………………………………………………………………………………………………………………………………………………

# Formule qui calcule la valeur moyenne de L et son incertitude à partir des N expériences numériques aléatoires :
L_moy = ……………………………………………………   # Valeur moyenne des N valeurs simulées de L
u_L = ………………………………………………………     # Ecart-type des N valeurs simulées de L (qui s'identifie à l'incertitude type u(L))

# Formule qui permet d'afficher la valeur moyenne de C_cal et son incertitude :
print('L_moy=', ………………… , 'J/kg')    # Affiche la valeur moyenne des N valeurs simulées de L avec son unité
print('u(L)=', ………………… , 'J/kg')     # Affiche l'écart-type des N valeurs simulées de u(L) avec son unité
```

✍**9-** Exécuter le programme Python puis annoncer alors la valeur de L en l'accompagnant de son incertitude-type u(L) avec un nombre de chiffres significatifs raisonnable.

✍**10-** A l'aide d'un écart normalisé, comparer le résultat obtenu avec la valeur théorique annoncée en introduction.