

**Détermination de la capacité calorifique d'une saucisse et conception d'un sachet chauffant****1. Introduction**

Le but principal de ce laboratoire est de déterminer la capacité calorifique d'une saucisse viennoise afin d'estimer celle d'une main humaine. En plus, vous allez déterminer la relation entre la chaleur de dissolution et le nombre de moles d'un sel inorganique. Ces mesures rendront possible la conception d'un sachet chauffant (*heat pack*) fait maison pour traiter les gelures des mains.

Dans cette expérience, vous allez utiliser le calorimètre utilisé dans l'expérience #1 pour faire vos mesures. Aussi vous allez vous servir des données obtenues pour l'enthalpie molaire de dissolution afin de déterminer la composition optimale de votre sachet chauffant.

**1.1. Capacité calorifique massique**

Nous avons vu en classe que la chaleur est une énergie transférée d'un corps à un autre à cause d'une différence de température. Ce transfert se fait de façon spontanée à partir d'un corps chaud vers un corps froid. La quantité de chaleur échangée  $q$ , l'écart de température provoqué  $\Delta T$  et la masse du corps dont la température varie sont reliés par la capacité calorifique massique  $C_s$ .  $C_s$  nous indique la chaleur nécessaire pour augmenter la température de 1 °C d'un corps de 1 kg de masse. En réalité,  $C_s$  dépend de la température :

$$q = m \int_{T_1}^{T_2} C_s dT \quad (\text{Équation 1})$$

Mais, dans les petits intervalles de température (comme dans les expériences du laboratoire #1 et celle-ci),  $C_s$  varie peu et nous pouvons la considérer comme une constante, donc :

$$q = mC_s\Delta T \quad (\text{Équation 2})$$

Dans cette expérience, vous allez déterminer  $C_s$  pour une saucisse viennoise à l'aide d'un calorimètre simple en polystyrène (styromousse). Vous allez d'abord peser et ensuite refroidir la saucisse à 0 °C pour en fin l'ajouter dans le calorimètre. À l'aide de l'équation suivante vous allez déterminer  $C_{s(\text{saucisse})}$  :

$$-C_{cal}\Delta T_{cal} = m_{saucisse}C_{s(saucisse)}\Delta T_{saucisse} \quad (\text{Équation 3})$$

**1.2. Enthalpie de dissolution molaire et enthalpie de dissolution limite**

Nous avons vu en classe et dans le laboratoire #1 que la chaleur absorbée ou dégagée lors de la dissolution d'un soluté dans l'eau par mole de soluté, c.-à-d., l'enthalpie de dissolution ( $\Delta H_{sol}$ ) molaire, est le résultat du bilan des interactions intermoléculaires soluté-soluté et soluté-solvant.

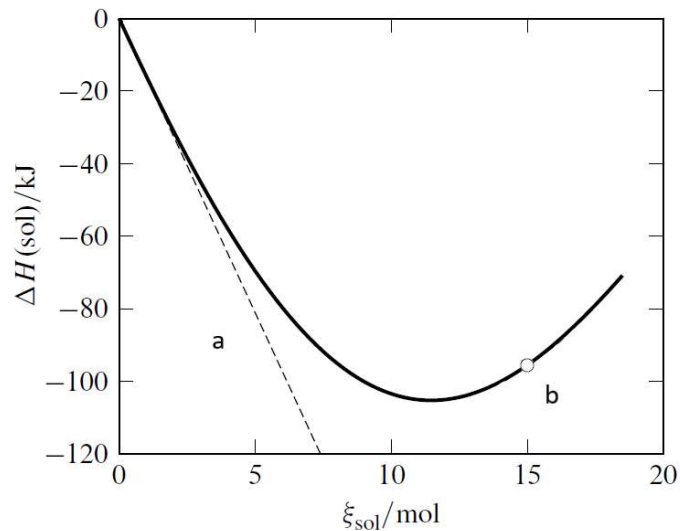
Cependant,  $\Delta H_{sol}$  est dépendante de la composition de la solution parce que les interactions soluté-soluté en solution sont de plus en plus importantes au fur et à mesure que la concentration du soluté augmente dans la

## CHM 103

### Transformation de la matière

solution. Pour isoler les interactions soluté-solvant, l'enthalpie limite de dissolution ( $\Delta H_{sol}^{\infty}$ ) est utilisée.  $\Delta H_{sol}^{\infty}$  représente la variation d'enthalpie par mole de soluté quand celui-ci est transféré à un très grand volume de solvant.

Dans la pratique, il n'est pas possible de déterminer  $\Delta H_{sol}^{\infty}$  directement, puisque la chaleur dégagée dans de telles conditions est très faible, donc difficilement mesurable. Pour y arriver, nous dessinons le graphique de la variation d'enthalpie  $\Delta H_{sol}$  en fonction du nombre de moles transférés en solution  $\xi_{sol}$  et ensuite nous traçons la tangente à la courbe pour les plus faibles concentrations comme indiqué à la Figure 1. La pente de la droite  $a$  est  $\Delta H_{sol}^{\infty}$ .



**Figure 1.** Variation de l'enthalpie de dissolution de  $\text{NaCH}_3\text{COOH}_{(s)}$  en fonction de la quantité de soluté dissout  $\xi_{sol}$  ( $m_{\text{eau}} = 1 \text{ kg}$ ,  $P = 1 \text{ bar}$ ,  $T = 298.15 \text{ K}$ ). Le cercle à 15 mol indique la limite de saturation de la solution. Source: DeVoe H. (2020) *Thermodynamics and Chemistry*. Version 10 ed: Howard DeVoe, 534 p.

**CHM 103**  
**Transformation de la matière**

**2. Partie expérimentale**

**2.1. Matériel (pour le montage du capteur)**

- Raspberry Pi 4 B+ avec ruban de connexion et « T-cobbler »
- Platine d'expérimentation
- Ordinateur PC
- Câble Ethernet
- Capteur de température DS18B20
- Résistance de 4,7 k $\Omega$
- Fils de jonction (4x)

**2.2. Matériel (pour les mesures de calorimétrie)**

- Verre en styromousse (4x)
- Support universel
- Pincés (1x)
- Agitateur magnétique
- Plaque agitatrice
- Glace concassée
- Eau désionisée
- Thermomètre numérique (2x)
- Saucisse viennoise
- Bécher de 250 mL (2x)
- Bécher de 1000 mL
- CaCl<sub>2</sub>
- Nacelles en plastique pour la pesée (5x)

**2.3. Montage du capteur numérique de température**

1. Suivez les instructions pour le montage du capteur dans le protocole de l'expérience #1. **Faites approuver votre montage par votre démo avant de passer à la prochaine étape.**
2. Branchez votre Raspberry Pi à l'ordinateur de votre poste de travail. La communication entre les composantes de votre montage (ordinateur, Raspberry Pi et capteur) est déjà établie et la communication entre le capteur et donc pas besoin de faire la procédure de l'expérience #1.
3. Ouvrez le script « LectureTemp(v1.1).py » dans le logiciel Thonny Python IDE.

## CHM 103

### Transformation de la matière

#### 2.4. Préparation de la saucisse pour l'expérience

1. À l'aide d'un bécher de 250 mL, prenez de la glace concassée de la machine à glace située au laboratoire D1-3013.
2. Épongez légèrement une saucisse viennoise à l'aide d'un kim-wipe. Coupez-la en deux et pesez une des moitiés précisément dans un plateau de pesée. Il se peut que la valeur de la masse affichée sur la balance varie en fonction du temps, vous devez donc prendre la première valeur stable. Après la pesée, mesurez le diamètre et la hauteur de cette moitié de saucisse à l'aide d'une règle.
3. Versez approximativement 75 mL de glace concassée et ajoutez 25 mL de l'eau d'ionisée dans un verre en styromousse afin de faire une sloche. Insérez le thermomètre numérique dans une saucisse viennoise sur sa longueur et placez le tout sur la sloche. Ensuite ajoutez un peu de glace concassée et d'eau pour couvrir la saucisse, comme indiqué à la Figure 2.



**Figure 2.** Montage pour refroidir la saucisse.

4. Après approximativement 10 min, la saucisse devrait avoir une température de 0 °C.

#### 2.5. Préparation du calorimètre

1. Ensuite, vous allez réaliser le montage de la Figure 3, similaire à celui de l'expérience du laboratoire #1.
2. Tout comme dans l'expérience #1, vous n'allez pas étalonner votre calorimètre, vous allez plutôt peser chacune des composantes pour ensuite déterminer par calcul la capacité calorifique du calorimètre. Vous devez donc peser deux verres de styromousse (placez un verre à l'intérieur de l'autre) puis introduire le barreau magnétique et peser de nouveau.

## CHM 103

### Transformation de la matière

3. Versez 100 mL d'eau de la cruche contenant l'eau déionisée dans un cylindre gradué de 100 mL et versez l'eau dans le calorimètre en styromousse. Il est important de verser un volume précis afin de bien connaître la masse d'eau dans le calorimètre. Vous allez calculer cette masse par après avec la densité de l'eau selon la température de celle-ci.
4. Placez le calorimètre sur la plaque agitatrice et allumez l'agitation. Placez le capteur dans l'eau et assurez-vous que le barreau ne touche pas le capteur. Notez la température initiale de l'eau à l'aide du thermomètre numérique. Elle vous servira à utiliser la bonne valeur de la densité de l'eau.

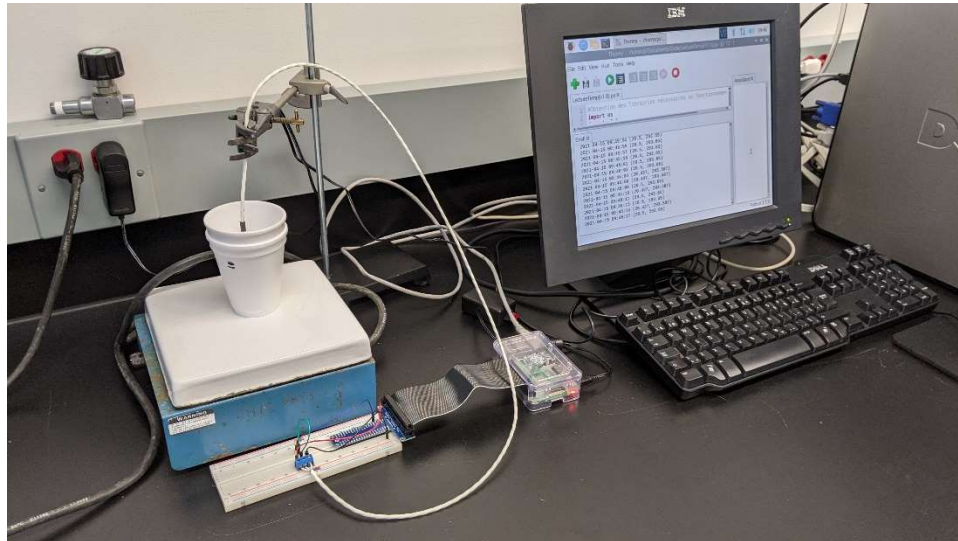


Figure 3. Montage du calorimètre et le capteur de température.

#### 2.6. Détermination de la capacité calorifique de la saucisse viennoise

1. Puisque le capteur se trouve à une température différente de celle de l'eau, vous allez laisser que la température mesurée par le capteur se stabilise. Après 2 min de contact entre le capteur et l'eau, la température devrait être stable.
2. Démarrez le script « LectureTemp(v1.1).py » en cliquant sur l'icône de démarrage et donnez un nom facilement identifiable à votre base de données.
3. Vous allez prendre des mesures de température durant 1 min afin d'établir une ligne de base de températures stables. La moyenne de cette ligne de base sera la température initiale du calorimètre.
4. Après 1 min, utilisez le thermomètre numérique pour suspendre la demi-saucisse et notez la température (donnée par le thermomètre numérique). Celle-ci est sa température initiale. Ensuite, submergez-la dans l'eau de votre calorimètre. Vous allez observer un changement de température du calorimètre. Cette variation de la température devrait se stabiliser après 5 min. Arrêtez la mesure lorsque la température du capteur et celle du thermomètre numérique concordent. Notez la température finale de la saucisse donnée par le thermomètre numérique. La moyenne des mesures prises par le capteur lorsque la température se stabilise une deuxième fois est la température finale du calorimètre.
5. Arrêtez le script et retirez le capteur et la saucisse du calorimètre. Essayez la pointe du capteur à l'aide d'un Kim-wipe.

**CHM 103**  
**Transformation de la matière**

**2.7. Relation entre l'enthalpie de dissolution et le nombre de moles de sel**

1. Dans cette partie de l'expérience, vous allez mesurer la variation de l'enthalpie de dissolution en fonction du nombre de moles du sel dissout.
2. Vous devez d'abord tarer une balance et peser une nacelle en plastique.
3. Tarez à nouveau et pesez précisément environ 0,2 g de  $\text{CaCl}_2$  dans nacelle.
4. Refaites les étapes 2.7.2 à 2.7.3 avec les masses suivantes : 0,5 g, 1 g, 2,5 g et 5 g.
5. À l'aide d'un cylindre gradué, ajoutez 100 mL d'eau dans votre calorimètre. Notez la température de l'eau à l'aide d'un thermomètre.
6. Placez votre calorimètre sur la plaque agitatrice et insérez le capteur dans l'eau.
7. Attendez 3 min à que la température du capteur se stabilise et ensuite démarrez l'enregistrement de la température avec le script `LectureTemp(1.1).py`. Donnez un nom à votre base de données qui vous permettra d'identifier le fichier facilement.
8. Attendez 1 min pour avoir une ligne de base stable et ensuite ajoutez le contenu du vial avec  $m_{\text{CaCl}_2} = 0.2$  g. Assurez-vous que tout le sel ajouté soit dissout et qu'il n'en reste sur les parois.
9. Vous allez observer d'abord un changement et ensuite une stabilisation de la température après l'ajout du sel. Arrêtez le script après une fois que vous observez que la température reste stable pour au moins 1 min.
10. Retirez le capteur du calorimètre et essuyez la pointe du capteur à l'aide d'un Kim-wipe.
11. Pesez la nacelle qui contenait  $m_{\text{CaCl}_2} = 0.2$  g.
12. Répétez, les étapes 2.7.5 à 2.7.11 avec les autres 4 nacelles.

**CHM 103**  
**Transformation de la matière**

**3. Traitement de données**

**3.1. Détermination de la capacité calorifique spécifique d'une saucisse**

1. Exportez vos données de la base de données de format .sqlite3 en format CSV en suivant les instructions du laboratoire #1.
2. Portez en graphique la température en fonction du temps et déterminez  $\Delta T_{\text{cal}}$ .
3. À l'aide de la température initiale et finale de la saucisse prise à l'aide du thermomètre numérique, vous allez déterminer  $\Delta T_{\text{saucisse}}$ . Pour le calorimètre et la saucisse, les températures initiales sont différentes, mais la température finale est la même.
4. Calculer  $C_{s(\text{saucisse})}$ .

**3.2. Estimation de la capacité calorifique des mains humaines**

1. Évaluer le volume de votre main à l'aide du bécher de 1000 mL en mesurant l'augmentation du volume de l'eau en plongeant votre main dans l'eau.
2. Déterminez le ratio du volume de votre main et le volume de la saucisse (calculé en utilisant la formule du volume du cylindre) en millilitres. Ce ratio est le volume de votre main en unités de saucisses.
3. Utilisez ce ratio pour estimer la capacité calorifique de vos mains en  $\text{J } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

**3.3. Détermination de l'enthalpie de dissolution limite et de la variation de l'enthalpie de dissolution en fonction du nombre de moles de  $\text{CaCl}_2$  dissous.**

1. Porter en graphique  $\Delta H_{\text{sol}}$  en fonction de  $n_{\text{CaCl}_2}$  à l'aide du logiciel Excel.
2. Déterminez la pente de la portion du graphique constituée de deux plus faibles valeurs de  $n_{\text{CaCl}_2}$  et forcez cette droite à passer par l'origine avec la fonction DROITEREG. Cette pente correspond à votre valeur expérimentale de  $\Delta H_{\text{sol}}^\infty$ .
3. Déterminez la pente du graphique avec toutes vos valeurs. Cette fois, ne forcez pas la droite à passer par l'origine avec la fonction DROITEREG. Cette pente représente la variation de  $\Delta H_{\text{sol}}$  en fonction du nombre de moles de  $\text{CaCl}_2$  dans la gamme des valeurs utilisées (c.-à-d. cette valeur serait probablement différente si vous aviez utilisé une autre gamme de valeurs).

**3.4. Détermination de la composition du sachet chauffant pour mains**

1. Estimez la chaleur nécessaire en kJ pour réchauffer vos mains à partir d'une température de  $15^\circ\text{C}$  à la température normale des mains ( $32^\circ\text{C}$ ).
2. Estimez la composition idéale en eau et en  $\text{CaCl}_{2(s)}$  d'un sachet chauffant permettant de réchauffer à partir d'une température de  $15^\circ\text{C}$  à la température normale des mains.

## CHM 103

### Transformation de la matière

#### 4. Préparation avant le laboratoire (dans votre cahier de laboratoire) [5% de la note de l'expérience de laboratoire]

- Lire le protocole au complet et coller la partie expérimentale (pages 3 à 6) dans votre cahier de laboratoire.
- À partir des enthalpies limites de dissolution, estimez le  $\Delta T$  pour la dissolution de chaque masse de  $\text{CaCl}_2$  indiquée dans le protocole. Les enthalpies limites de dissolution se trouvent dans les notes de cours (ne pas utiliser celles du livre).

#### 5. Rapport de laboratoire [90 % de la note de l'expérience de laboratoire]

Le rapport de laboratoire devrait être simple et concis (1 par équipe) et contenir les sections suivantes :

- Page titre
- Résumé détaillé de l'expérience (20 points)
  - Ce résumé devra compter au moins 250 à 300 mots (voir un exemple dans l'annexe).
  - Ce résumé devra répondre aux questions suivantes :
    - Pourquoi est-il important de déterminer la capacité calorifique spécifique des matériaux?
    - Quel est le but de cette expérience?
    - Comment l'expérience a-t-elle été faite?
    - Quels sont les résultats obtenus?
    - Est-ce que ces résultats concordent bien avec la théorie?
    - Quelles sont les principales causes d'erreur?
- Résultats (30 points)
  - Ajoutez les graphiques de la température en fonction du temps pour toutes vos expériences et déterminer le  $\Delta T$ . N'oubliez pas d'ajouter les axes, les unités et une légende à chaque figure.
  - Faites un tableau indiquant vos valeurs expérimentaux ( $\Delta T$ ,  $q$ ,  $C_{\text{cal}}$ ,  $m_{\text{saucisse}}$ , etc.) et calculés pour la détermination de  $C_{\text{s(saucisse)}}$ . Comparez la valeur de  $C_{\text{s(saucisse)}}$  avec la capacité calorifique spécifique d'autres matériaux courants. N'oubliez pas d'ajouter une légende au tableau, d'utiliser les bonnes unités et les chiffres significatifs adéquats selon la précision de vos mesures.
  - Faites le graphique de  $\Delta H_{\text{sol}}$  en fonction de  $n_{\text{CaCl}_2}$  et donner les valeurs de deux pentes (comme indiqué à la section 3.3) avec leurs erreurs.
- Discussion (35 points)
  - Discutez vos observations et résultats (p. ex.  $\Delta T$ ,  $\Delta H_{\text{sol}}^\infty$ , etc.) et les résultats des tableaux (les valeurs correspondent-elles aux valeurs attendues? Quels sont les écarts avec les valeurs théoriques (p. ex. pour  $\Delta H_{\text{sol}}^\infty$ )?
  - Discutez les sources d'erreur.
- Tirez une conclusion générale de votre laboratoire (5 points)
  - Indiquez si l'objectif de l'expérience a été atteint.
  - Comment pourriez-vous améliorer cette expérience?