

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 ΔT 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 d'1 kg de substance de 1 °C. 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 ensuite l'ajouter dans le calorimètre. À l'aide de l'équation suivante vous allez déterminer $C_{s(\text{saucisse})}$:

$$\text{Bilan de transfert de chaleur : } -C_{cal}\Delta T_{cal} = m_{saucisse}C_{s(\text{saucisse})}\Delta T_{saucisse} \quad (\text{Équation 3})$$

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 molaire (ΔH_{sol}), est le résultat du bilan des interactions intermoléculaires soluté-soluté et soluté-solvant.

Cependant, ΔH_{sol} dépend de la composition de la solution, puisque les interactions soluté-soluté en solution deviennent plus importantes à mesure que la concentration du soluté dans la solution augmente. Pour isoler

CHM 103
Transformation de la matière

les interactions soluté-solvant qui contribuent à ΔH_{sol} , on définit l'enthalpie limite de dissolution $\Delta H_{\text{sol}}^{\infty}$, représentant la variation d'enthalpie par mole de soluté quand celui-ci est dissout dans un très grand volume de solvant (« à dilution infinie »).

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

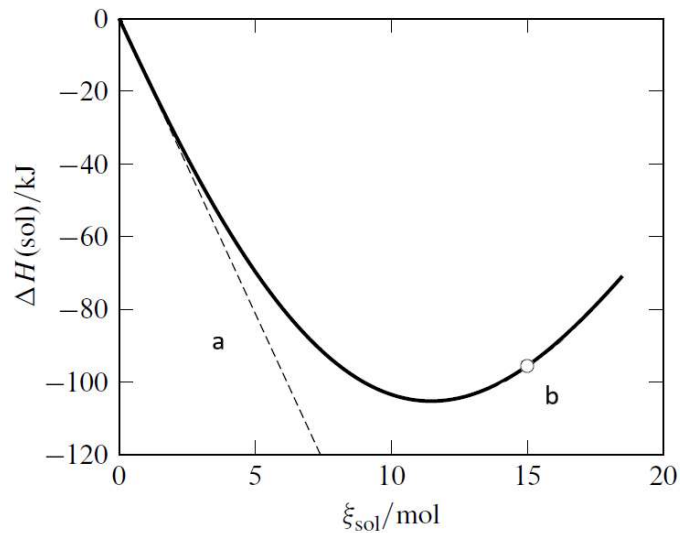


Figure 1. Variation de l'enthalpie de dissolution de $\text{CH}_3\text{COONa}_{(\text{s})}$ en fonction de la quantité de soluté dissout ξ_{sol} ($m_{\text{eau}} = 1 \text{ kg}$, $P = 1 \text{ bar}$, $T = 298.15 \text{ K}$). Le cercle à 15 mol indique la limite de saturation de la solution. Source: DeVoe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

2. Partie expérimentale

2.1. Matériel (pour le montage du capteur)

- Module Arduino
- Platine d'expérimentation
- Ordinateur PC
- Capteur de température DS18B20
- Résistance de 4,7 k Ω
- Fils de jonction
- Écran ACL

2.2. Matériel (pour les mesures de calorimétrie)

- Verre en styromousse (4×)
- Support universel
- Pincés
- Agitateur magnétique
- Plaque agitatrice
- Glace concassée
- Eau désionisée
- Thermomètre à viande
- Capteur numérique
- Saucisse viennoise
- Bécher de 250 mL (2×)
- Bécher de 1000 mL
- MgCl₂
- Nacelles en plastique pour la pesée (5×)

2.3. Montage du capteur numérique de température

Suivre les instructions pour le montage du capteur incluses dans le protocole de l'expérience #1.
Faire approuver le montage par un·e démo avant de passer à la prochaine étape.

2.4. Préparation de la saucisse pour l'expérience

1. À l'aide d'un bécher de 250 mL, prendre de la glace concassée de la machine à glace située au laboratoire D1-3013.
2. Éponger légèrement une saucisse viennoise à l'aide d'un kim-wipe. La couper en deux et peser une des moitiés précisément dans un plateau de pesée. Il se peut que la valeur de la masse affichée sur la balance

CHM 103

Transformation de la matière

varie en fonction du temps : prendre la première valeur stable. Après la pesée, mesurer le diamètre et la hauteur de cette moitié de saucisse à l'aide d'une règle.

3. Verser approximativement 75 mL de glace concassée et ajouter 25 mL de l'eau désionisée dans un verre en styromousse afin de faire une sloche. Insérer le thermomètre numérique dans une saucisse viennoise sur sa longueur et placer le tout sur la sloche. Ajouter ensuite un peu de glace concassée et d'eau pour couvrir la saucisse, comme montré sur 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. Mesure du volume de votre main (pendant que la saucisse refroidit)

1. Introduire le plus précisément possible 500 mL d'eau du robinet dans bécher de 1000 mL : V_{eau} .
2. Immerger votre main jusqu'au poignet et mesurant l'augmentation du volume : $V_{\text{eau+main}}$. [Faire réaliser cette étape par tous les membres de l'équipe.]

2.6. Préparation du calorimètre

1. Réaliser le montage de la Figure 3 (page suivante), 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.

CHM 103

Transformation de la matière

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.

3. Mesurer 100 mL d'eau désionisée 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. Placer le calorimètre sur la plaque agitatrice et démarrez l'agitation. Placez le capteur numérique 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 capteur numérique. Elle vous servira à utiliser la bonne valeur de la densité de l'eau.

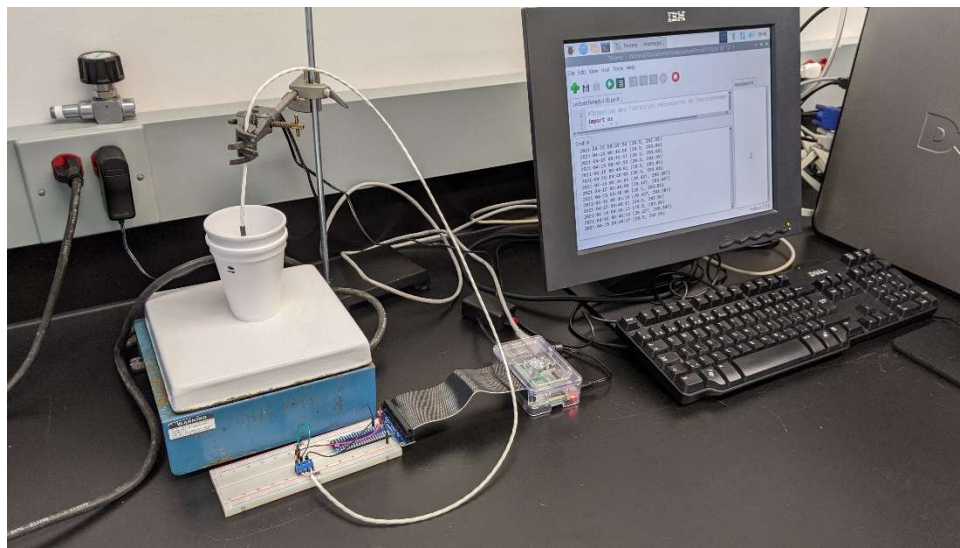


Figure 3. Montage du calorimètre et le capteur de température.

2.7. Détermination de la capacité calorifique de la saucisse viennoise

1. Attendre environ 2 minutes pour que la température du capteur numérique se stabilise.
2. Démarrer l'acquisition de données dans le logiciel.
3. 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, utiliser le thermomètre à viande pour suspendre la demi-saucisse et noter sa température (donnée par le thermomètre numérique). Ceci sera sa température initiale. Ensuite, la submerger dans l'eau de votre calorimètre. Observer alors le changement de température du calorimètre. Cette variation de température devrait se stabiliser après 5 min. Arrêter la mesure lorsque la température du capteur numérique et celle du thermomètre à viande concordent. Noter la température finale de la saucisse donnée par le thermomètre à viande.
5. Sauvegarder les données. Retirer le capteur numérique et la saucisse du calorimètre. Essuyer la pointe du capteur numérique à l'aide d'un Kim-wipe.

CHM 103
Transformation de la matière

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

1. Dans cette partie de l'expérience, on va mesurer la variation de l'enthalpie de dissolution en fonction du nombre de moles du sel dissout.
2. Déposer une nacelle en plastique sur une balance et appuyer sur la tare.
3. Peser précisément environ 0,2 g de MgCl_2 dans la nacelle.
4. Refaire les étapes 2.8.2 à 2.8.3 avec les masses suivantes : 0,5 g, 1 g, 2,5 g et 5 g.
5. À l'aide d'un cylindre gradué, ajouter 100 mL d'eau dans le calorimètre.
6. Placer le calorimètre sur la plaque agitatrice et insérer le capteur numérique dans l'eau. Noter la température de l'eau.
7. Attendre 3 min jusqu'à ce que la température du capteur se stabilise et ensuite démarrer l'enregistrement de la température avec le logiciel.
8. Attendre 1 min pour avoir une ligne de base stable et ajouter alors le contenu de la nacelle avec $m_{\text{MgCl}_2} = 0.2 \text{ g}$. S'assurer que tout le sel ajouté se dissout et qu'il n'en reste pas sur les parois.
9. Observer après l'ajout du sel le changement puis la stabilisation de la température. Arrêter le logiciel lorsque la température demeure stable pendant environ 1 minute. Sauvegarder les données en leur donnant un nom explicite : H25-CHM103-Lab2-[Initiales].
10. Retirer le capteur du calorimètre et essuyer la pointe du capteur à l'aide d'un Kim-wipe.
11. Repeser la nacelle qui contenait les 0.2 g pour corriger la masse introduite (peser la quantité restant dans la nacelle à la fin).
12. Répéter les étapes 2.8.5 à 2.8.11 avec les 4 autres nacelles.

CHM 103
Transformation de la matière

3. Traitement de données

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

1. Tracer le graphique de la température en fonction du temps et déterminez ΔT_{cal} .
2. À l'aide de la température initiale et finale de la saucisse prises à l'aide du thermomètre numérique, déterminer $\Delta T_{\text{saucisse}}$. Rappel : Pour le calorimètre et la saucisse, les températures initiales sont différentes, mais la température finale est la même.
3. Calculer $C_{s(\text{saucisse})}$.

3.2. Estimation de la capacité calorifique des mains humaines

1. Calculer en millilitres le volume de la saucisse en l'approximant à un cylindre.
2. Calculer en millilitres le volume de votre main à l'aide des mesures réalisées en 2.4.
3. Calculer le ratio du volume de vos mains et du volume de la saucisse. Ce ratio est le volume de votre main en unités de saucisses.
4. Utiliser 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 MgCl_2 dissous.

1. Tracer le graphique de ΔH_{sol} en fonction de n_{MgCl_2} à l'aide du logiciel Excel.
2. Déterminer la pente de la portion du graphique constituée de deux plus faibles valeurs de n_{MgCl_2} et forcer 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. Déterminer la pente du graphique avec toutes vos valeurs. Cette fois, ne pas forcer la droite à passer par l'origine avec la fonction DROITEREG. Cette pente représente la variation de ΔH_{sol} en fonction du nombre de moles de MgCl_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. Estimer la chaleur nécessaire en kJ pour réchauffer vos mains à partir d'une température de 15°C à la température normale des mains (32°C).
2. Estimer la composition idéale en eau et en $\text{MgCl}_{2(s)}$ d'un sachet chauffant permettant de réchauffer à partir d'une température de 15°C à la température normale des mains.

Transformation de la matière

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

- Prévoir le partage des tâches pour les différentes tâches à effectuer durant le laboratoire.
- À partir des enthalpies de dissolution limites, estimer le ΔT de dissolution pour chaque masse de MgCl_2 indiquée dans le protocole. Les enthalpies limites de dissolution se trouvent dans les diapositives du cours.

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 environ 300 mots (voir un exemple sur la page Web du cours).
 - Ce résumé devra répondre aux questions suivantes :
 - Mise en contexte: Pourquoi est-il important de déterminer la capacité calorifique spécifique des matériaux?
 - Objectif : Quel est le but de cette expérience?
 - Méthode : Comment l'expérience a-t-elle été faite? (Décrivez brièvement les étapes les plus importantes de la méthode employée)
 - Résultats et discussion: Quels sont les principaux résultats obtenus et leur interprétation?
 - Conclusion: Est-ce que le but de l'expérience a été atteint? Comment l'expérience pourrait-elle être améliorée? Quelles autres compétences avez-vous acquises?
- Résultats (30 points)
 - Ajouter les graphiques de la température en fonction du temps pour toutes les expériences et déterminer la ΔT . Ne pas oublier d'ajouter les axes, les unités et une légende à chaque figure.
 - Faire un tableau incluant les valeurs mesurées expérimentalement (ΔT , q , C_{cal} , m_{saucisse} , etc.) et celles déterminées par calcul, utilisées pour trouver $C_{s(\text{saucisse})}$. Comparer la valeur de $C_{s(\text{saucisse})}$ avec la capacité calorifique spécifique d'autres matériaux courants. Ne pas oublier d'ajouter une légende au tableau et d'utiliser les unités et les chiffres significatifs adéquats, en fonction de la précision des mesures.
 - Tracer le graphique de ΔH_{sol} en fonction de n_{MgCl_2} et donner les valeurs de deux pentes (comme indiqué à la section 3.3) avec leurs erreurs.
- Discussion (35 points)
 - Discuter des observations et des résultats (p. ex. ΔT , $\Delta H_{\text{sol}}^\infty$, etc.) et des résultats des tableaux (les valeurs correspondent-elles aux valeurs attendues? Quels sont les écarts avec les valeurs théoriques (p. ex. pour $\Delta H_{\text{sol}}^\infty$)?
 - Discuter des sources d'erreur.
- Tirer une conclusion générale sur le laboratoire (5 points)
 - Indiquer si l'objectif de l'expérience a été atteint.

CHM 103

Transformation de la matière

- Comment pourrait-on améliorer cette expérience?