

Laboratoire #1 :

Mise au point d'un capteur numérique de température et mesure de l'enthalpie de dissolution de deux sels inorganiques

1. Introduction

Le but principal de ce laboratoire est d'évaluer la performance d'un capteur numérique de température à l'aide de la plateforme Arduino pour des mesures calorimétriques. Ensuite, ce capteur sera utilisé pour mesurer la chaleur de dissolution de plusieurs sels inorganiques.

Arduino est une gamme de petites cartes électroniques peu coûteuses qui permettent de connecter et de contrôler une multitude de composants électroniques comme des moteurs, des DELs et des capteurs. L'intérêt des cartes Arduino repose sur le fait qu'elles peuvent être facilement programmées et personnalisées pour répondre aux besoins de l'utilisateur. Ces cartes sont parfaites pour apprendre à fabriquer des circuits électriques simples et bien adaptées à l'utilisation en milieu scolaire.



Figure 1. Photo du Arduino R3, l'un des nombreux modèles de la gamme Arduino.

Dans cette expérience, vous allez utiliser le capteur numérique de température DS18B20. Ce capteur fonctionne sur une gamme de températures entre -55 °C et 125 °C. D'après le manufacturier, le DS18B20 a une justesse de ± 0.5 °C dans la gamme de -10 °C à 85 °C et peut mesurer des changements de température aussi petits que 0.0625 °C. Contrairement à d'autres capteurs numériques, le DS18B20 est disponible dans un modèle qui peut être submergé dans l'eau, ce qui le rend idéal pour des applications en calorimétrie.

1.1. Précision et justesse

Dans ce laboratoire, vous allez déterminer deux paramètres de performance essentiels à tout instrument de mesure : la précision et la justesse.

La précision décrit l'erreur aléatoire des mesures, c.-à-d. les erreurs entraînant une dispersion des résultats autour de leur moyenne. Elle peut être quantifiée par l'écart-type (s) ou le pourcentage d'écart-type relatif (s_r):

CHM 103
Transformation de la matière

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (\text{Équation 1})$$

$$s_r = \left(\frac{s}{\bar{x}} \right) \times 100\% \quad (\text{Équation 2})$$

Dans ces équations, x représente une valeur, $\bar{x}$ la moyenne des valeurs et n le nombre de valeurs. Dans Excel, l'écart-type est calculé à l'aide de la fonction =ECARTYPE.STANDARD().

La justesse (aussi appelée, dans certains livres, l'exactitude) désigne l'erreur systématique des mesures, c.-à-d. l'erreur entraînant un éloignement par rapport à la valeur de référence (x_{ref}). Elle peut être quantifiée par le biais absolu (b) ou le biais relatif ($b\%$) :

$$b = \bar{x} - x_{ref} \quad (\text{Équation 3})$$

$$b(\%) = \frac{\bar{x} - x_{ref}}{x_{ref}} \times 100\% \quad (\text{Équation 4})$$

Dans cette expérience, la valeur de référence sera déterminée à l'aide d'un autre instrument de mesure, un thermomètre au mercure. Les mesures de température seront effectuées dans un mélange de glace et d'eau, placé dans un calorimètre fabriqué avec des verres en styromousse (polystyrène).

1.2. Enthalpie de dissolution molaire

Le passage en solution d'un solide dans un liquide, c'est-à-dire sa dissolution, est un phénomène accompagné par une libération ou absorption de chaleur par le soluté et les molécules de solvant qui l'entourent (le système). Au niveau moléculaire, la dissolution et l'effet thermique qui l'accompagne sont expliqués par le bris des interactions entre les molécules du solvant et du soluté, ainsi que par la formation d'interactions entre les molécules du solvant et celles du soluté. Comme discuté en cours, le bris d'un lien ou d'une interaction moléculaire nécessite un apport d'énergie. En revanche, la formation de liens ou d'interactions moléculaires libère de la chaleur. Donc, le bilan énergétique de la dissolution va déterminer sa nature exothermique (le système dégage de la chaleur) ou endothermique (le système absorbe de la chaleur).

L'enthalpie de dissolution molaire ΔH_{sol} d'un soluté dans l'eau peut être déterminée à partir du changement de température lorsque la substance se dissout à pression constante dans un calorimètre. Un calorimètre mesure les transferts d'énergie sous forme de chaleur par la variation de température ΔT produite par un processus qui se passe à l'intérieur du calorimètre possédant une capacité calorifique C_{cal} déterminée par ses composantes :

$$q = -C_{cal}\Delta T \quad (\text{Équation 5})$$

Comme il a été vu en classe, à pression constante et quand seul un travail d'expansion peut s'effectuer :

$$\Delta H = q_p \quad (\text{Équation 6})$$

Transformation de la matière

Dans cette expérience, le capteur de température servira à déterminer ΔT , et C_{cal} sera calculée à partir de la masse de composantes du calorimètre et leur capacité calorifique spécifique: deux verres en polystyrène (styromousse), un barreau aimanté et de l'eau :

$$C_{cal} = m_{polystyrène} C_{s(polystyrène)} + m_{barreau} C_{s(barreau)} + m_{eau} C_{s(eau)} \quad (\text{Équation 7})$$

Les valeurs de $C_{s(polystyrène)}$, $C_{s(eau)}$ et $C_{s(barreau)}$ vous sont fournies à la section 3.2 du présent protocole.

2. Partie expérimentale**2.1. Matériel (pour le montage du capteur)**

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

2.2. Matériel (pour la mise au point du capteur)

- Verre en styromousse (2×)
- Support universel
- Pinces (1×)
- Barreau magnétique
- Plaque agitatrice
- Glace concassée
- Eau désionisée
- Thermomètre au mercure (capable de mesurer la température autour de 0° C).
- Cylindre gradué de 100 mL
- Bécher de 250 mL

2.3. Matériel pour la mesure de l'enthalpie de dissolution

- Vial de 20 mL avec bouchon (8×)
- MgCl₂ et K₂SO₄ anhydres
- Kim-wipes

2.4. Montage du capteur numérique de température

2.4.1. Rappel sur le fonctionnement de la platine d'expérimentation

La platine d'expérimentation sert à faire des circuits électroniques simples. Dans ces dispositifs on retrouve une série de trous organisés en colonnes et rangées. Dans la platine d'expérimentation que vous allez utiliser, les trous sont branchés (c.-à-d. le courant peut y circuler) comme indiqué sur la Figure 1.

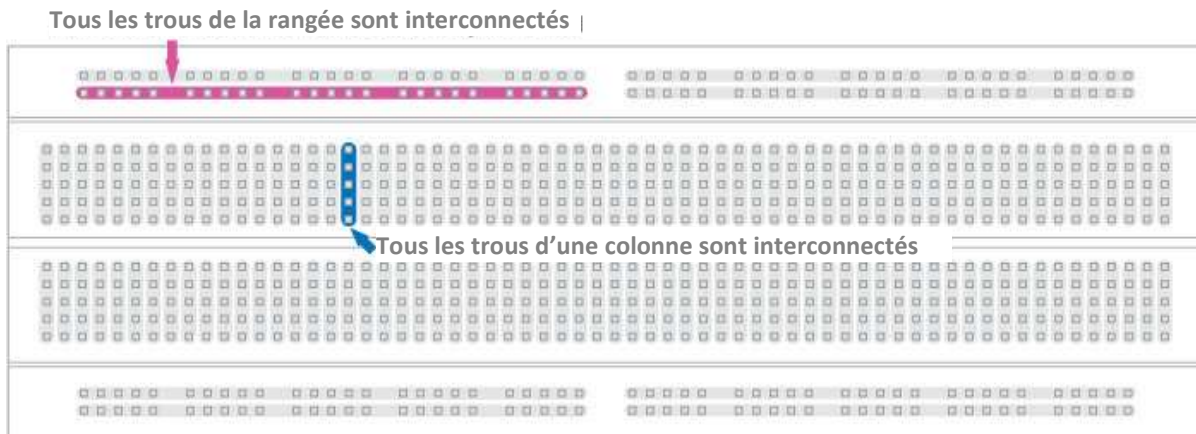


Figure 1. Les 4 rangées supérieures et les 4 rangées inférieures sont branchées comme indiqué par la ligne rouge. Ceci veut dire que le courant peut passer par tous les trous de chacune de ces rangées. Chaque colonne dans les rangées du milieu est branchée comme indiqué par la ligne bleue.

1. Réalisez le montage illustré aux figures 2 à 4 (pages 5 et 6) :

Connexion du capteur de température

- a. Commencez par brancher la prise à trois pattes du capteur DS18B20 sur la platine d'expérimentation. L'important est que les trois pattes se trouvent sur des colonnes différentes. Chaque patte est connectée à un fil relié au capteur : le fil rouge est la borne positive, celui en jaune est le fil de transmission de l'information et celui en bleu est la borne de mise à la terre.
- b. Utilisez un fil de jonction afin de relier le port 5V du module Arduino à la zone « + » de la platine d'expérimentation. Utilisez ensuite un fil de jonction noir pour relier la borne « GND » à la zone « - » de la platine.
- c. Insérez la résistance de 4,7 k Ω afin de relier la zone « + » de la platine d'expérimentation à la borne de transmission (fil jaune) du capteur de température.
- d. Utilisez un fil de jonction pour relier la borne positive du capteur de température (fil rouge) à la zone « + » de la platine d'expérimentation.
- e. Utilisez un fil de jonction noir pour relier la borne de mise à la terre du capteur de température (fil bleu) à la zone « - » de la platine d'expérimentation.
- f. Utilisez un fil de jonction jaune pour relier la borne de transmission (fil jaune) du capteur de température à l'entrée 3 (« Digital ») du module Arduino.

CHM 103
Transformation de la matière

Connexion de l'écran ACL

- a. Connectez directement deux fils de jonction à partir des bornes SDA/SCL (identifiées 3 et 4, vert et bleu) de l'écran jusqu'aux bornes SDA/SCL du module Arduino.
- b. Connectez un fil de jonction de la borne VDD de l'écran à la zone « + » de la platine d'expérimentation.
- c. Connectez un fil de jonction de la borne GND de l'écran à la zone « - » de la platine d'expérimentation.

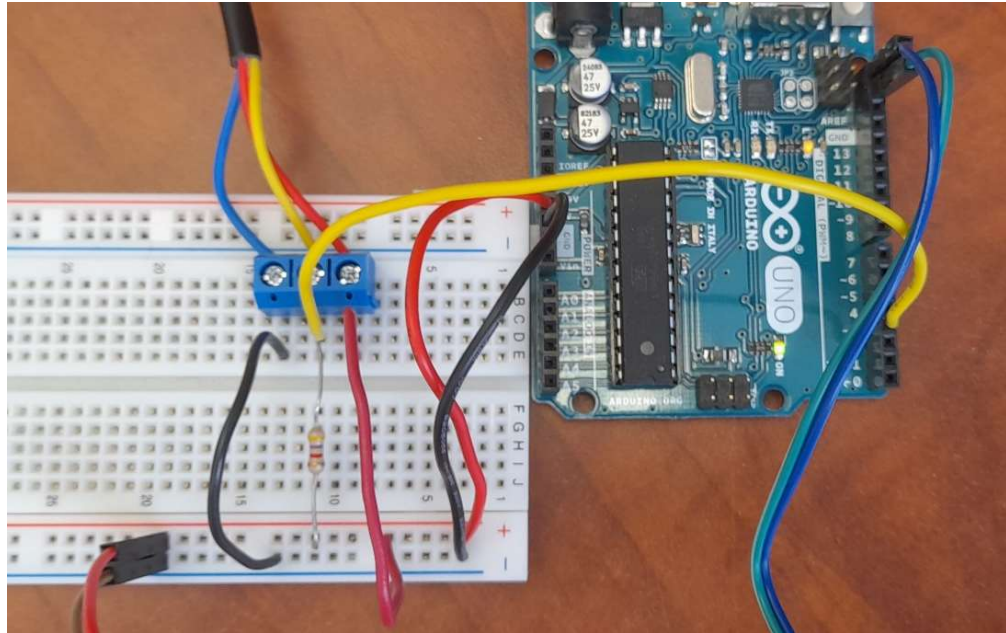


Figure 2. Circuit électrique de branchement du capteur de température au module Arduino. L'écran ACL n'est pas visible sur cette image, mais on peut observer les fils de jonction qui le relient (en bas à gauche et en haut à droite).

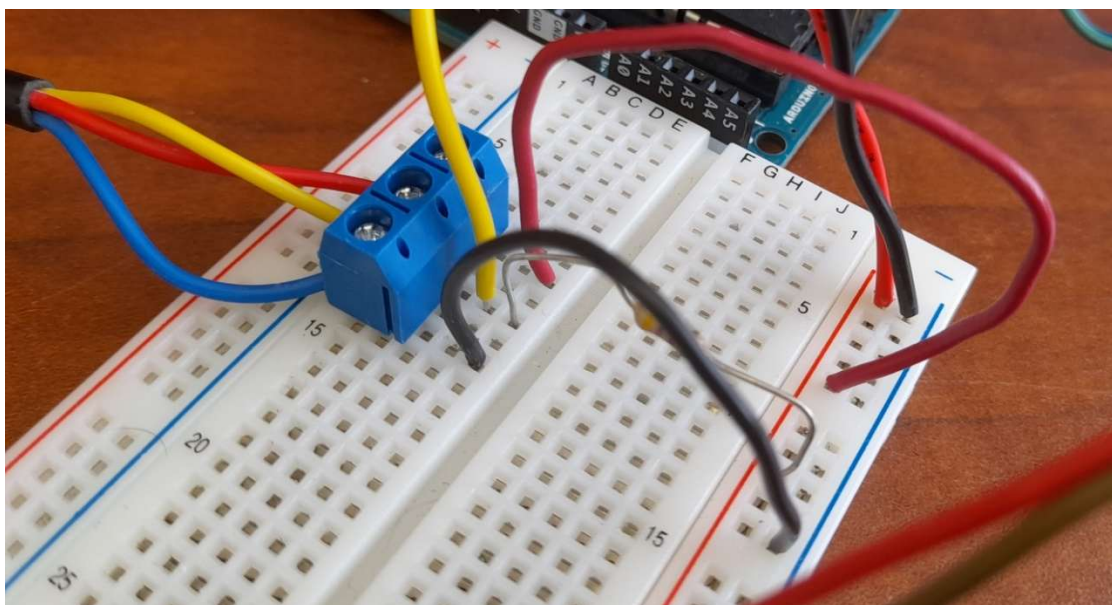


Figure 3. Branchement des composantes du capteur de température avec le module Arduino.

Transformation de la matière



Figure 4. Schéma de connexion détaillé du montage. Les couleurs des fils sont à titre indicatif seulement.

Faites approuver votre montage par votre démo avant de passer à la prochaine étape. Si le montage n'est pas fait correctement, vous pouvez endommager le module Arduino ou l'écran ACL! (Voilà un bel exemple d'une réaction irréversible! 😊)

2.5. Connexion entre le module Arduino et l'ordinateur

- Reliez le module Arduino à l'ordinateur à l'aide du câble USB.
- Démarrez le logiciel « CHM103-capteur_de_temperature » et assurez-vous que l'indicateur « Connexion Arduino » s'allume.

2.6. Tests de la justesse de votre capteur de température

1. Vous allez réaliser le montage de la Figure 9.

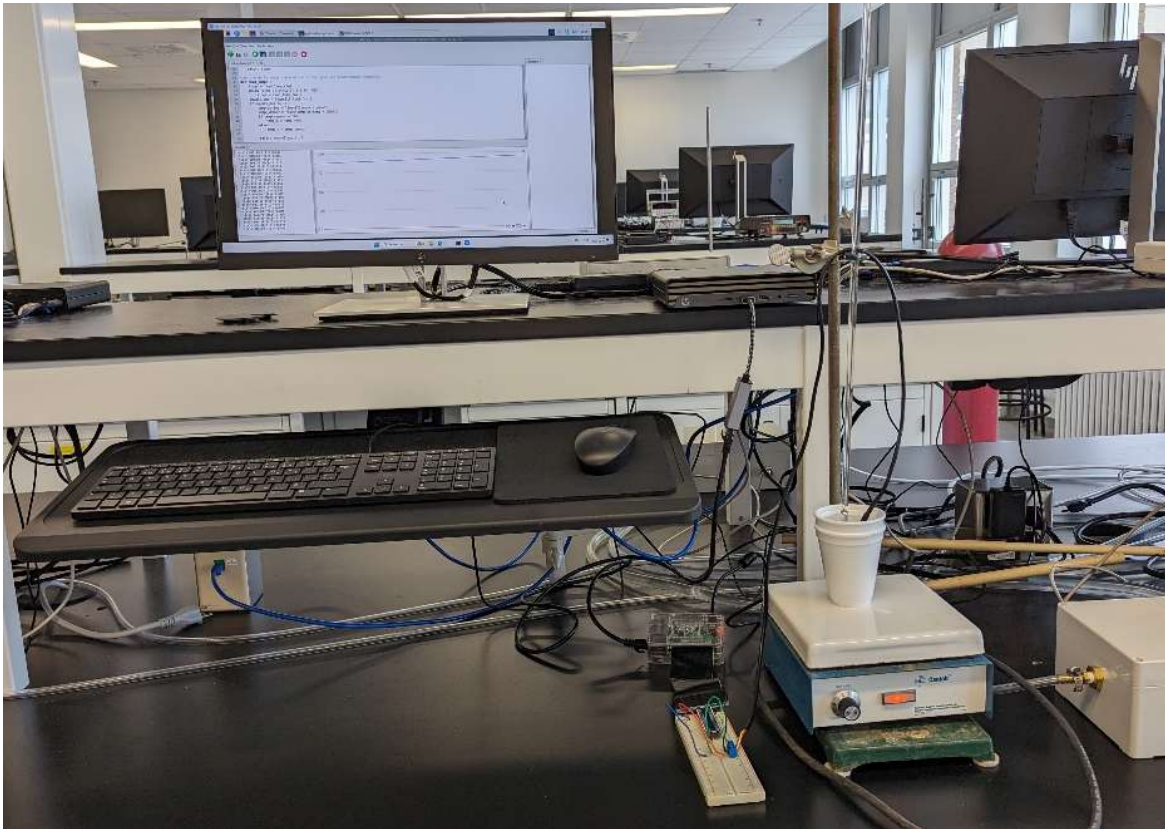


Figure 9. Montage du calorimètre et du capteur de température.

2. Remplissez un bécher de 600 mL de glace concassée de la machine à glace située au laboratoire D1-3013.
3. Ajoutez suffisamment d'eau pour faire une *sloche*. Il doit y avoir assez d'eau entre les pièces de glace, mais pas trop pour faire de « l'eau glacée ». Après stabilisation, la température de la *sloche* devrait être la température de fusion de l'eau.
4. Ajoutez un barreau magnétique.
5. Placez le bécher sur la plaque agitatrice et allumez l'agitation.
6. Démarrez l'acquisition de données dans le logiciel LabView sur l'ordinateur.
7. Placez un thermomètre dans le mélange en utilisant une pince pour le tenir.
8. Placez le capteur dans le mélange de glace et d'eau et assurez-vous que le barreau ne le touche pas. Le thermomètre et le capteur doivent être à la même profondeur.
9. Laissez le capteur et le thermomètre immergés jusqu'à ce que la température se stabilise proche de 0 °C (approximativement après 200 s) et notez la température affichée par le thermomètre chaque 30 s.
10. Arrêtez l'acquisition de données après 120 s (vous devez avoir effectué 4 lectures de la température du thermomètre), puis retirez le capteur et le thermomètre du mélange. Assurez-vous de sauvegarder les données avec un nom explicite afin de pouvoir ensuite les analyser.

CHM 103
Transformation de la matière

2.7. Tests d'enthalpie de dissolution de $MgCl_2$ et K_2SO_4

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.
2. Peser quatre vials en verre de 20 mL avec leurs bouchons. Les identifier en les numérotant à l'aide d'un marqueur permanent.
3. Introduire environ précisément 1 g de $MgCl_2$ dans chaque vial, fermer hermétiquement et peser de nouveau.
4. Répéter les étapes 2 et 3, mais cette fois, pour l'autre sel : K_2SO_4 (3 g).
5. Placez un verre en styromousse dans un autre verre en styromousse. Les peser, puis introduire le barreau magnétique et les peser de nouveau.
6. À l'aide d'un cylindre gradué, ajoutez 100 mL d'eau dans votre calorimètre. Pesez-le, puis écrivez la masse mesurée dans votre cahier.
7. Placez votre calorimètre sur la plaque agitatrice, puis insérez le capteur dans l'eau.
8. Attendez 3 min pour que la température du capteur se stabilise, puis démarrez l'enregistrement de la température.
9. Attendez 1 min pour obtenir une ligne de base stable, puis ajoutez $MgCl_2$. Vous devez ajouter lentement le $MgCl_2$ à l'eau. Assurez-vous que tout le sel ajouté est dissous et qu'il n'en reste pas sur les parois.
10. Vous allez observer un changement, puis une stabilisation de la température, à la suite de l'ajout du sel. Arrêtez l'acquisition de données lorsque la température reste stable pendant au moins 15 s. Assurez-vous de sauvegarder les données en leur donnant un nom explicite.
11. Retirez le capteur du calorimètre et essuyez la pointe du capteur à l'aide d'un Kim-wipe.
12. Peser le vial qui contenait $MgCl_2$ et noter sa masse.
13. Répétez, les étapes 6 à 12 jusqu'à ce que vous ayez quatre mesures pour le $MgCl_2$. Répétez les mêmes étapes avec le K_2SO_4 afin d'obtenir aussi 4 mesures. Il est important de vider, rincer et essuyer le verre en styromousse en contact avec les solutions.
14. À la fin de l'expérience, assurez-vous de rincer le bout métallique du capteur avec de l'eau désionisée, puis essuyez-le avec un Kim-wipe. Ceci évitera la corrosion du métal.

3. Traitement de données

3.1. Détermination de la justesse du capteur

1. En premier lieu, ouvrez le fichier qui contient les données et faites un copier/coller de tout le contenu dans un fichier Excel. Vous devriez avoir 2 colonnes : l'une correspond au temps et l'autre à la température. Ces données vous permettront de déterminer la précision et la justesse des mesures.
2. Déterminez la moyenne de la température dans la région des températures stables pour chaque essai, puis calculez la moyenne des 4 valeurs obtenues.
3. Pour déterminer la justesse, vous allez calculer le biais absolu moyen à l'aide de l'équation 3 du protocole. Dans ce cas-ci x_{exp} représente la moyenne des températures calculées précédemment et x_{ref} représente la moyenne des températures mesurées par le thermomètre.

3.2. Détermination de l'enthalpie de dissolution des sels et de la précision de la mesure

1. Calculez la masse, puis le nombre de moles, de $MgCl_2$ et K_2SO_4 ajoutés dans l'eau pour chacun des essais.
2. Calculez la capacité calorifique du calorimètre en utilisant les valeurs suivantes :
 - a. $4,184 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ pour l'eau,
 - b. $1,45 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ pour les verres de styromousse,
 - c. $0,50 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ pour le barreau magnétique;

Vous allez négliger la capacité calorifique du capteur.

3. Portez en graphique la température en fonction du temps et déterminez les ΔT pour chacun des essais.
4. Calculez l'enthalpie de dissolution molaire pour chacun des essais et calculez la moyenne du résultat obtenu pour chaque sel ainsi que l'écart-type. L'écart-type vous donnera l'incertitude sur la valeur d'enthalpie, ce qui correspond à la précision liée à l'expérience.

Transformation de la matière

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

- Calculez l'incertitude de mesure du thermomètre que vous allez utiliser. La photo à droite vous montre la graduation complète entre 0 et -1 °C. Combien de décimales vos mesures prises au thermomètre devraient-elles avoir ?
- Trouvez les enthalpies standard de dissolution de MgCl_2 anhydre et K_2SO_4 anhydre (d'après les données dans les diapositives du cours) et estimez le ΔT pour la dissolution de chaque sel.
- En utilisant la même annexe, considérer l'effet sur le résultat si les sels ne sont plus anhydres mais sont devenus des hydrates, c.-à-d., $\text{MgCl}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ et $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ (x représente le nombre de molécules d'eau attachées à la structure cristalline par mole de sel).

**5. Rapport de laboratoire [95 % 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 précision et la justesse des capteurs de température?
 - 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)
 - Ajoutez les graphiques de la température en fonction du temps pour toutes vos expériences et déterminez la ΔT . N'oubliez pas d'ajouter les axes, les unités et une description à chaque figure.
 - Faites un tableau indiquant la moyenne et l'écart-type pour chaque essai, ainsi que la précision et la justesse absolues du capteur. Comparez vos résultats à ceux du manufacturier.
 - Faites un tableau indiquant les changements de température, les enthalpies molaires de dissolution expérimentales et les enthalpies molaires de dissolution limite standard.

CHM 103

Transformation de la matière

N'oubliez pas d'ajouter une légende au tableau et d'utiliser les unités et les chiffres significatifs adéquats, en fonction de la précision de vos mesures.

- Discussion (35 points)
 - Discutez vos observations (p. ex. ΔT) et les résultats des tableaux (les valeurs correspondent-elles à la théorie ou aux spécifications du fabricant? Quels sont les écarts avec les valeurs attendues? etc.)
 - Discutez des sources d'erreur.
- Tirez une conclusion générale de votre laboratoire (5 points)
 - Indiquez si l'objectif de l'expérience a été atteint.
 - Selon vos résultats, votre calorimètre peut-il mesurer correctement la variation d'enthalpie des réactions?
 - Comment pourriez-vous améliorer cette expérience?