Faculté des Sciences
Département de Physique
Kénitra, Maroc

Travaux Pratiques de Physique

Licence Fondamentale SMP, S3

Module : Thermodynamique II

Responsable :

Pr. Mohamed GOUIGHRI

Année Universitaire : 2022 - 2023

Quelques Consignes

Les travaux pratiques sont des développements des enseignements et doivent en permettre une meilleure compréhension, mais aussi ils doivent être considérés comme une initiation à: la méthodologie, la précision de la mesure, l'analyse et l'esprit critique.

Avant la séance de TP, vous devez lire l'énoncé et savoir répondre aux questions suivantes:

- Quel est le système étudié ?
- Comment est-il constitué ?
- Que va-t-on mesurer, avec quels moyens et dans quel but
- Quelles sont les conclusions attendues ?

Les parties théoriques du TP doivent être faites avant la séance pour vous permettre de vous consacrer pleinement aux mesures et à leur traitement.

Vous devez rendre à la fin de chaque séance, à votre enseignant un compte rendu par binôme. Ce compte-rendu doit synthétiser les résultats obtenus et sera noté.

Sommaire

Rappels : Ecriture et calcul des incertitudes

I. LECTURE DES MESURES.

Les appareils de mesure dans leur grande diversité donnent un affichage numérique ou analogique de la grandeur mesurée. Dans les deux cas, il y a une incertitude de mesure due à la précision de l'appareil et à l'exactitude de son calibrage (position du zéro et étalonnage de l'appareil). A cela se rajoute, dans le cas d'un affichage analogique, l'incertitude de lecture.

I.1 Affichages numériques.

On pourrait être tenté de croire qu'un tel affichage ne comporte pas d'erreur : ceci est FAUX. Cas d'un affichage stable : 8.35 V incertitude sur le dernier chiffre affiché, donc la mesure est au mieux à ± 0.01 V et au pire à ± 0.09 V.

Si on dispose de la notice de l'appareil, le constructeur indique la précision de la mesure, qui varie souvent d'un calibre à l'autre. Elle est généralement donnée en % de la mesure, ou en (% de la mesure ± 1 ou 2 « digit »), ce qui correspond à l'incertitude d'affichage expliquée ci-dessus. L'erreur de calibre et l'erreur d'affichage peuvent être du même ordre de grandeur : auquel cas il faut les ajouter, ou d'ordre différent, auquel cas il faut au moins s'aligner sur la plus grande.

(NB : « erreur » pour « incertitude »)

I.2 Affichages analogiques.

Le principe de l'incertitude due à la précision du calibre existe sur les appareils analogiques de la même façon que sur les appareils numériques. Elle se calcule de la même façon si on dispose des informations du constructeur. A cela se rajoute l'incertitude de lecture.

II – ECRITURE DES INCERTITUDES.

Par convention, le dernier chiffre d'un résultat numérique est celui sur lequel porte l'erreur ; si on écrit l'incertitude, celle-ci est arrondie à un chiffre, situé à la même précision que le dernier chiffre du résultat. On écrit (grandeur) = (meilleure estimation de la mesure) +/- (incertitude)

Ex : 23.4 ± 0.3 cm ; 23.0 ±0.5 cm ; mais PAS : 23 ± 0.5 cm ou 23.2 ± 20 mm !!!

Chiffres significatifs :

La notion de chiffre significatif est intimement liée à celle de précision. Plus un résultat contient de chiffres significatifs, plus il est précis. Pour déterminer le nombre de chiffres significatifs d'une valeur, on utilise la convention précédente d'écriture des résultats. Prenons par exemple 10,2. L'incertitude porte sur le dernier chiffre et sa valeur minimale est donc de 0,1. Ecrivons cette incertitude sous la forme d'un chiffre (et non plus d'un nombre), en utilisant la puissance de 10 adéquate : $0,1 = 1.\ 10^{-1}$. Il suffit ensuite d'écrire 10,2 en utilisant la même puissance de 10 : $10,2 = 102.\ 10^{-1}$. Il faut 3 chiffres pour écrire 102, ce sont les chiffres significatifs.

Ex : 0,025 : $0,025 \pm 0,001 = (25 \pm 1)\ 10^{-3}$ donc : 2 chiffres significatifs.

0,0250 : $0,0250 \pm 0,0001 = (250 \pm 1)\ 10^{-4}$ donc : 3 chiffres significatifs.

Bien que 0.025 et 0.0250 représentent la même valeur, écrire 0.0250 implique une précision 10 fois plus élevée que 0,025. Ecrire un zéro n'est donc jamais anodin...

La connaissance du nombre de chiffres significatif est utile lorsqu'on veut écrire une grandeur calculée à partir d'une mesure sans passer par le calcul d'incertitude de cette grandeur. En effet, en première approximation nous pouvons utiliser la règle du report du nombre de chiffres significatif. Ainsi si la mesure de m comporte 5 chiffres significatifs, toutes les valeurs calculées à partir de m comme 1/m, m^2… devront être écrite avec 5 chiffres significatifs.

III - INCERTITUDES ABSOLUES ET INCERTITUDES RELATIVES.

L'incertitude absolue est une grandeur du même type que la mesure m ; elle a la même unité (s'il y a lieu). On la note Δm. Si on ajoute deux valeurs, on ajoute leurs incertitudes.

Ex : $L_1 = 23.4 \pm 0.2$ cm et $L_2 = 12.0 \pm 0.3$ cm : $L_1 + L_2 = 35.4 \pm 0.5$ cm

Il arrive souvent que l'on veuille comparer l'incertitude à sa mesure ; on parle alors d'incertitude relative. On la note $\frac{\Delta m}{m}$.

Ex : On pèse $m_1 = (200 \pm 2)$ g ; $m_2 = (2\ 000 \pm 2)$ g ; $m_3 = (200 \pm 2)$ kg

L'incertitude absolue sur m_1 et m_2 est la même : 2 g ; celle sur m_3 est 1000 fois plus grande (2 kg).

L'incertitude relative sur m_1 est 2/200 soit 1%, l'incertitude relative sur m_2 est 2/2 000 soit 0.1% (10 fois plus petite) , l'incertitude relative sur m_3 est 2/200 = 1%, la même que sur m_1.

IV - CALCUL DES INCERTITUDES.

IV.1 Rappels sur la différentielle d'une fonction.

A toute fonction dérivable d'une seule variable, y = f(x), on relie la variation locale de y à la variation locale de x par la forme dite " différentielle ", dy = f '(x) dx .
C'est à dire qu'autour de ce point x, on assimile la variation de f(x) avec le produit de la dérivée en x par la variation de x (on " linéarise " la fonction f en x). La différentielle s'écarte d'autant moins de la vraie variation de f(x) que l'intervalle dx est petit (tend vers zéro).

Ecriture : $y = a\, x^n \;\Longrightarrow\; dy = a\, n\, x^{n-1} dx;\;\; Y = \ln(ax+b) \;\Longrightarrow dY = \frac{a}{ax+b} dx$

Pour une fonction de plusieurs variables, on généralise en utilisant les dérivées partielles calculées en supposant une grandeur variable et les autres fixes :
Soit f(x,y) : $df = f'_x(x,y)dx + f'_y(x,y)dy = \frac{\partial f}{\partial x}dx + \frac{\partial f}{\partial y}dy$

IV.2 Utilisation de la différentielle.

Lorsqu'un résultat R est obtenu après un calcul utilisant des mesures m_i, on doit déterminer l'incertitude sur le résultat en fonction des incertitudes sur les différentes mesures. Selon les cas, il sera plus facile de déterminer l'incertitude absolue ΔR ou l'incertitude relative ΔR / R.
Quand les opérations en jeu sont des sommes ou des différences, on utilise les incertitudes absolues. Dans le cas où R s'écrit comme une fonction de plusieurs variables, on utilisera la différentielle pour exprimer la variation sur R à partir des variations Δm_i.
Notations : Soit G une grandeur physique.
G_m est la valeur mesurée de G.
G_e est la valeur "exacte " de G (mais forcément inconnue).
L'erreur absolue que l'on fait sur une mesure est notée :
$\delta G = G_m - Ge$ (δG est alors inconnue).
L'incertitude sur G, que l'on note ΔG et que l'on prend positive, est la limite supérieure de l'erreur (le pire des cas). Contrairement à δG, ΔG peut être estimée.

Cas général

Supposons que la grandeur physique G soit reliées à d'autres grandeurs physiques x, y, z… par une relation mathématique connue : G = f (x, y, z…).
Ce sont les valeurs de x, y et z que l'on mesure expérimentalement et dont on connaît les incertitudes de mesure Δx, Δy, Δz… La valeur de G est obtenue par le calcul (relation

mathématique) et l'objectif est de connaître l'incertitude ΔG qui se répercute sur G du fait des incertitudes Δx, Δy, Δz...

Les différentes étapes du calcul de ΔG sont les suivantes :

G = f(x, y, z…)

1ère étape : Différencier

$$dG = f'_x\, dx + f'_y\, dy + f'_z\, dz + \ldots$$

avec $f'_x = \frac{\partial f}{\partial x}$ (dérivée partielle de f par rapport à la variable x)

On suppose que l'erreur de mesure est suffisamment petite pour que $\delta G \neq dG$ et donc :

$\delta G = f'_x\, \delta x + f'_y\, \delta y + f'_z\, \delta z + \ldots$

2ème étape : Chercher le maximum de δG

ΔG, la limite supérieure de l'erreur prise positive est définie par :

$$\Delta G = |\delta G|_{max} = |(f'_x \delta_x)_{max}| + \left|\left(f'_y \delta_y\right)_{max}\right| + |(f'_z \delta_z)_{max}| + \ldots$$

$$= |f'_x|\, |\delta_x|_{max} + |f'_y|\, \left|\delta_y\right|_{max} + |f'_z|\, |\delta_z|_{max} + \ldots = |f'_x|\, \Delta_x + |f'_y|\, \Delta_y + |f'_z|\, \Delta_z + \ldots$$

Exemple d'application : $G(x, y, z) = -xy - \frac{z}{x+1}$

1ère étape : différencier : $dG = \left(-y + \frac{z}{(x+1)^2}\right)dx - xdy - \frac{dz}{x+1}$

2ème étape : majorer $\Delta G = \left|-y + \frac{z}{(x+1)^2}\right| \Delta x + |-x|\, \Delta y + \frac{\Delta z}{|x+1|}$

Cas particulier : « dérivée logarithmique » et incertitudes relatives

Dans le cas où la grandeur G apparaît sous forme de produits ou quotients des autres grandeurs, on simplifie beaucoup les calculs en différentiant le logarithmique de G.

Soit une fonction $G(x, y, z) = x^a y^b z^c$, alors $\frac{\Delta G}{|G|} = |a| \frac{\Delta x}{|x|} + |b| \frac{\Delta y}{|y|} + |c| \frac{\Delta z}{|z|}$

<u>Exemple 1</u>: $G = \frac{x}{yz^2} = x^1 y^{-1} z^{-2}$

Alors on définit F telle que : $F = \ln G = \ln x + \ln y + 2 \ln z$

$$dF = d(\ln G) = \frac{\partial F}{\partial x}dx + \frac{\partial F}{\partial y}dy + \frac{\partial F}{\partial z}dz = \frac{1}{G}dG = \frac{1}{x}dx - \frac{1}{y}dy - \frac{2}{z}dz$$

En écrivant de nouveau : $\Delta G = |\delta G|_{max}$

On obtient : $\frac{\Delta G}{|G|} = \frac{\Delta x}{|x|} + \frac{\Delta y}{|y|} + \frac{2\Delta z}{|z|}$

Cette technique de calcul est à connaitre « par coeur », on l'applique chaque fois que c'est possible (plus rapide que la méthode « générale).

<u>Exemple 2</u> : $I = RD/a^2$, on a : $\Delta I/I = \Delta R/R + \Delta D/D + 2\ \Delta a/a$

Remarque : " Estimation " rapide des incertitudes.

Dans certains cas seulement, on peut avoir une idée (généralement par excès) de l'incertitude en calculant R_{max} ou R_{min} par les valeurs des $m_i + \Delta m_i$ ou $m_i - \Delta m_i$

<u>Example</u>: V = 220 ± 3 volts, I = 4.5 ± 0.1 A ; on trouve R = V / I = 48.889 Ω. Que vaut ΔR ?

- Par les différentielles logarithmiques : $R = \frac{V}{I}\ donc\ lnR = lnV - lnI \Longrightarrow \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I}$

AN: $\frac{\Delta R}{R} = \frac{3}{220} + \frac{0.1}{4.5} = 0.036 \ \Longrightarrow \Delta R = 1.753\ \Omega\ \ on\ peut\ ecrire\ R = 49 \pm 2\Omega$

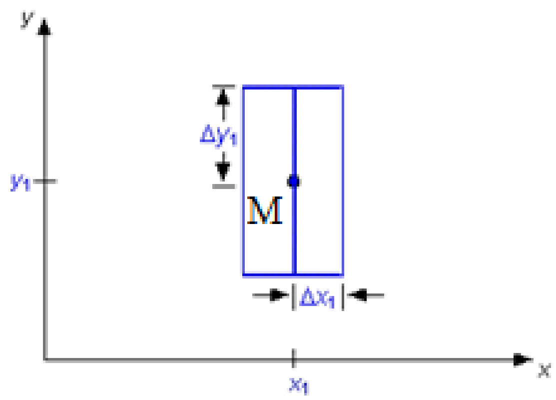
- Par estimation : $R_{max} = \frac{V_{max}}{I_{min}} = \frac{223}{4.4} = 50.68\ \Omega$ et $R_{min} = \frac{V_{min}}{I_{max}} = \frac{217}{4.6} = 47.17\ \Omega$

$R = \frac{R_{max}+R_{min}}{2} = 48.925\ \Omega$ et $\Delta R = \frac{R_{max}-R_{min}}{2} = 1.755\ \Omega$ on peut ecrire $R = 49 \pm 2\Omega$.

V. pente, courbe et rectangle d'incertitude

Cette capsule vous présente les différentes étapes menant au calcul de la pente d'un graphique et de son incertitude.

Chacun des résultats expérimentaux possède son incertitude. On représente les domaines d'incertitude de ces résultats comme indiqué sur la figure ci-contre. Le résultat expérimental n'est pas un point sur le graphique mais plutôt un domaine de valeurs possibles ayant la forme d'un rectangle (lorsqu'il y a des incertitudes en ordonnée ainsi qu'en abscisse).



Rectangle d'incertitude

Rectangle d'incertitude centré sur le point M de cotés $2\Delta x_1$ et $2\Delta y_1$ avec :

$$x_1 - \Delta x_1 \le x_1 \le x_1 + \Delta x_1\ \ et\ \ y_1 - \Delta y_1 \le y_1 \le y_1 + \Delta y_1$$

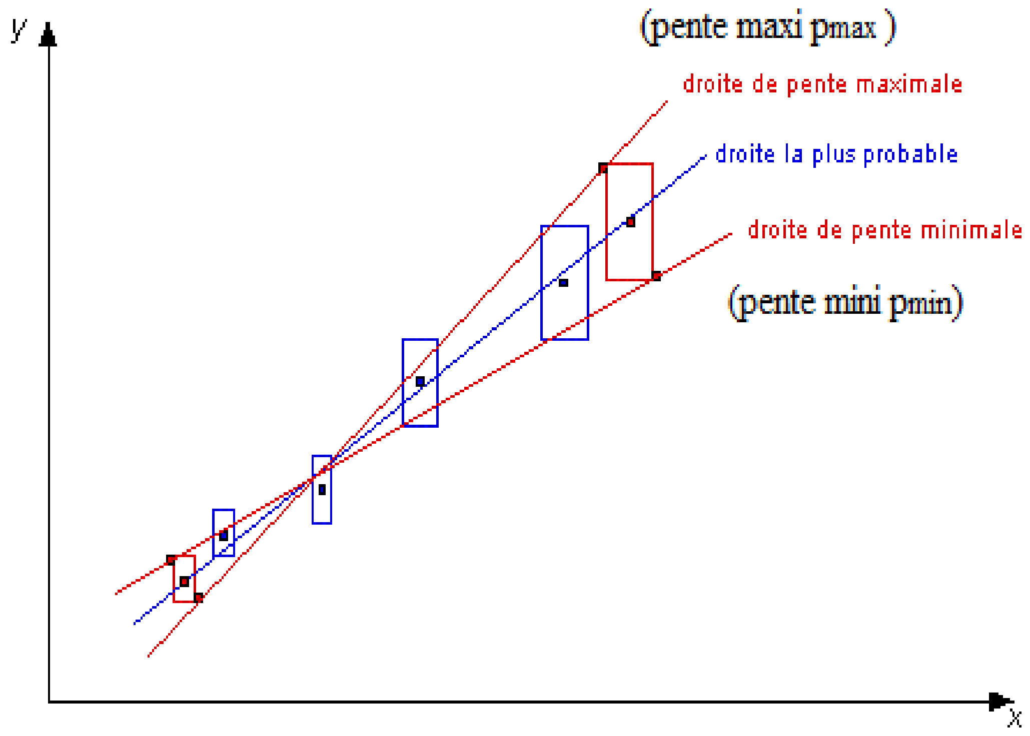
1. Les résultats expérimentaux sont placés sur le graphique. Les résultats expérimentaux et leurs incertitudes associées sont représentés sur le graphique par un ensemble de domaines d'incertitude en forme de rectangles.

2. La pente la plus probable est celle de la «meilleure» droite. En traçant cette droite, on doit minimiser les écarts entre celle-ci et les points expérimentaux (sans tenir compte des incertitudes). Normalement, la droite passe par tous les domaines d'incertitude. (par exemple : Excel trace cette droite en utilisant la régression linéaire).

3. Le calcul de la pente se fait en choisissant deux points sur la droite (les deux points d'extrémités : points sont indiqués en rouge). Ces points ne sont pas des points expérimentaux. Ils se situent légèrement à l'extérieur de la région dans laquelle se trouvent les points expérimentaux.

4. Pour obtenir l'incertitude associée à la pente la plus probable, on associe à chaque point, servant au calcul de la pente, un domaine d'incertitude. Ce domaine d'incertitude a les mêmes dimensions que celles du point expérimental le plus proche. Les domaines d'incertitude, ainsi obtenus (en rouge sur la figure), permettent de tracer les droites de pentes extrêmes (pente maxi et pente mini).

5. Les pentes extrêmes s'obtiennent à partir des droites extrêmes. Pour calculer ces pentes, on utilise les coordonnées des points apparaissant en rouge aux extrémités des rectangles. Les coordonnées de ces points peuvent être obtenues en utilisant l'équation de la droite la plus probable ainsi que l'incertitude associée au point expérimental le plus proche.



On exprime la pente avec son incertitude absolue sous la forme suivante : Pente = p ± Δp avec :

$$p = \frac{\Delta p_{max} + \Delta p_{min}}{2} \quad et \ \Delta p = \frac{\Delta p_{max} - \Delta p_{min}}{2}$$

TP N°1: Mesures calorimetriques 1

I - But

Le but de cette manipulation est d'utiliser un calorimètre et d'exploiter les équations calorimétriques pour déterminer :

- la valeur en eau μ_0 du calorimètre et de ses accessoires
- la chaleur latente de fusion de la glace

II - Calorimétrie

La calorimétrie est la partie de la thermodynamique qui a pour objectif la mesure des quantités de chaleur. Elle s'effectue dans des enceintes spéciales appelées calorimètres. En général c'est la partie expérimentale de la thermodynamique consistant en la mesure des quantités de chaleur. On l'utilise souvent pour déterminer, les chaleurs massiques, les chaleurs latentes et/ou les chaleurs de réactions chimiques.

Cette méthode repose sur le principe de l'égalité des échanges de chaleur : lorsque deux corps n'échangent que de la chaleur, la quantité de chaleur gagnée par l'un est égale à celle perdue par l'autre.

II.1 - Présentation du calorimètre.

Le calorimètre utilisé est constitué d'une cuve en aluminium placé à l'intérieur d'un récipient isolé thermiquement. L'ensemble comporte un agitateur et un thermomètre.

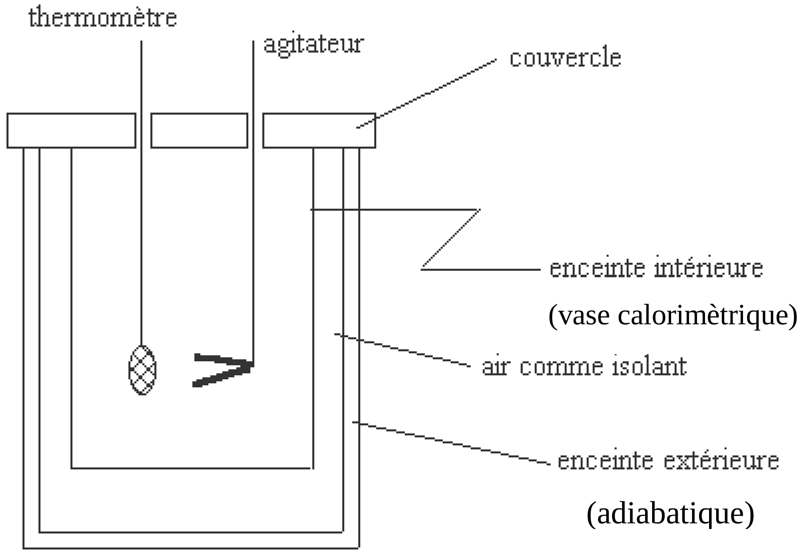


Figure 1: Principe du calorimètre.

II.2 - Définitions

a) *Chaleur massique :*

La chaleur massique c ou spécifique d'un corps est la quantité de chaleur absorbée (ou cédée) par l'unité de masse du corps considéré lorsqu'il s'échauffe (ou se refroidit) de *1 °C*.

b) *Capacité calorifique :*

On appelle capacité calorifique d'un corps la quantité $C = mc$, où m est la masse utilisée.

c) *Chaleur latente :*

La chaleur latente L d'un corps est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à l'unité de masse de ce corps pour le faire passer d'une phase à une autre sous une transformation isobare et isotherme.

d) *Valeur en eau μ_0 du calorimètre :*

C'est la masse d'eau fictive qui a la même capacité thermique que le calorimètre et ses accessoires.

II.3 - Détermination de la valeur en eau du calorimètre et de ses accessoires

Dans cette partie, on se propose de déterminer la valeur en eau du calorimètre et de ses accessoires par *la méthode du mélange*.

Soit un calorimètre, de valeur en eau μ_0, contenant une masse m_0 d'eau à la température θ_0. On y ajoute une masse m_1 d'eau à la température θ_1. A l'équilibre thermique, l'ensemble aura une température finale θ_f. la valeur en eau μ_0 du calorimètre est telle que:

$$(\mu_o + m_o)(\theta_f - \theta_o) + m_1 (\theta_f - \theta_1) = 0 \quad (1)$$

$$\mu_0 = -\frac{\theta_f - \theta_1}{\theta_f - \theta_0} m_1 - m_0 \quad (2)$$

II.4 - Détermination de la chaleur latente de fusion de la glace

Dans cette partie, on se propose de déterminer la chaleur latente de fusion de la glace par *la méthode du mélange*.

Sachant que la quantité de chaleur fournie à la glace pour la transformer en eau à $0\ °C$ et élever sa température à θ_f est égale à la quantité de chaleur cédée par l'ensemble (calorimètre-eau), quand sa température passe de θ_i à θ_f.
L'équation calorimétrique de cette transformation est :

$$(m_0 + \mu_0)c_e(\theta_i - \theta_f) = m_g L_f + m_g c_e \theta_f \quad (3)$$

Avec :

- L_f: chaleur latente de fusion de la glace ($cal.g^{-1}$)
- c_e: chaleur massique de l'eau ($cal.g^{-1}.°C^{-1}$)
- m_0: masse d'eau contenue dans le vase calorimétrique
- μ_0: valeur en eau du calorimètre et ces accessoires

$$L_f = \frac{(m_0 + \mu_0)c_e(\theta_i - \theta_f)}{m_g} - c_e \theta_f \quad (4)$$

III. Manipulation

III.1 - Valeur en eau du calorimètre et de ses accessoires

Dans cette manipulation, on se propose d'étudier expérimentalement la valeur en eau du *calorimètre* et de ses *accessoires*. Pour cela, effectuer les opérations suivantes:

- Déterminer la masse du vase calorimétrique par pesée à la balance. Soit m_c cette masse.
- Remplir ce vase d'une masse $m_0 = 200\ ml$ d'eau prise à température ambiante.
- Replacer le vase dans le calorimètre, fermer et mettre en place le thermomètre.
- Agiter doucement l'eau et s'assurer que sa température reste constante. Soit θ_0 cette température.
- Introduire une masse d'eau supplémentaire $m_1 = 400\ ml$ portée à une température $\theta_1 = 35°C$.
- Agiter doucement et suivre l'évolution du thermomètre. Noter la température maximale atteinte. Soit θ_f cette température.
- En utilisant la relation (*2*), déterminer la valeur en eau μ_0 du calorimètre et de ses accessoires. Ecrire le résultat sous la forme $(a \pm \Delta a)$ *unité.*
- Reporter les résultats dans le tableau ci-apres.
- Comparer ces résultats avec les données de la litterature.

$m_0(g)$	$\Delta m_0(g)$	$m_1(g)$	$\Delta m_1(g)$	$\theta_0(°C)$	$\Delta\theta_0(°C)$	$\theta_1(°C)$	$\Delta\theta_1(°C)$	$\mu_0(g)$	$\Delta\mu_0(g)$

III.2 - Chaleur latente de fusion de l'eau

Pour déterminer expérimentalement la chaleur latente de fusion de l'eau, on procède de la façon suivante:

- Déterminer la masse du vase calorimétrique par pesée à la balance. Soit m_c cette masse.
- Remplir ce vase d'une masse $m_0 = 400\ ml$ d'eau.
- Replacer le vase dans le calorimètre, fermer et mettre en place le thermomètre.
- Noter toutes les minutes pendant *5* minutes. La température de l'eau dans le calorimètre. Cette température doit être constante. Si elle varie avec le temps attendre qu'elle se stabilise.
- Introduire en une seule fois 4 cubes de glace sèche dans le vase calorimétrique.

- Agiter doucement et constamment et relever la température du mélange eau-glace toutes les *30* secondes pendant 7 minutes (de début de fusion jusqu'à apres la fusion de la glace (*la fin de la fusion correspond à la température la plus basse*).
- Mettre les résultats obtenus sous forme de tableau.

t(s)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	420
$\theta\,(°)$														

- Représenter graphiquement l'évolution de la température en fonction du temps $\theta = f(t)$.
- Commenter l'allure de cette courbe et indiquer sur le graphe la température initiale θ_0, la température finale θ_f et la température de fusion θ_{fusion}.
- Quand le relevé des températures est terminé, enlever le thermomètre et le couvercle puis peser le vase calorimétrique. En déduire la masse de la glace m_g et Δm_g. Ecrire le résultat sous la forme $(a \pm \Delta a)$ *unité.*
- En utilisant l'équation (*4*), déterminer la chaleur latente de fusion de la glace L_f et ΔL_f. Ecrire le résultat sous la forme $(a \pm \Delta a)$ *unité.*
- Regrouper les résultats obtenus dans le tableau ci-apres.
- Comparer ces résultats avec les données de la litterature.

m_0 (g)	Δm_0 (g)	m_g (g)	Δm_g (g)	θ_i (°C)	$\Delta\theta_i$ (°C)	θ_f (°C)	$\Delta\theta_f$ (°C)	L_f (cal/g)	ΔL_f (cal/g)

On donne : $\Delta\theta_i = \Delta\theta_f = 0{,}1$ °C, $\Delta m = 0{,}1$ g et $\Delta c_e = 0$

TP N°2 : Mésures calorimétriques 2

I - But

Cette manipulation à pour but de mesurer les quantités de chaleur mises en jeu au cours de transformations quelconques, on utilise pour cela un calorimètre (enceinte *quasi adiabatique)* afin de limiter les pertes (c*onduction*, c*onvection*, *rayonnement*), et aussi de détérminer l'équivalence joule/calorie.

II - Exemple de calorimètre

Le calorimètre est un système thermodynamique isolé qui n'échange aucune énergie avec le milieu extérieur. Sa paroi est indéformable et adiabatique.

Figure 1 : Calorimètre et ses accesoires utilisé à la salle de TP

III - Capacités thermiques massiques

Les expériences sont réalisées sous pression constante (pression atmosphérique), la quantité de chaleur Q reçue par le système est égale à sa variation d'enthalpie ΔH. Un corps de masse m dont la température varie de θ_1 à θ_2 reçoit la quantité de chaleur :

$$Q = \Delta H = mc_p(\theta_2 - \theta_1) \quad (1)$$

c_P, représente la capacité thermique massique du corps, supposée constante entre θ_1 et θ_2.

La capacité thermique massique de l'eau à température ambiante *est* $c_e = 4{,}18.10^3$ J. $K^{-1}.kg^{-1}$.

IV - Méthode des mélanges

Un calorimètre de valeur en eau μ_0 contient, à la température θ_0, un corps de masse m de capacité thermique massique c. On introduit dans le calorimètre un autre corps de masse m', de capacité thermique massique c', à la température θ'.

Il s'établit donc, dans le calorimètre, un équilibre thermique caractérisé par la température finale θ_f.

En appliquant la relation de calorimétrie $\sum_i Qi = 0$. On obtient l'équation calorimétrique suivante:

$$c_e(m + \mu_0)(\theta_f - \theta_0) + m'c'(\theta_f - \theta') = 0 \quad (2)$$

et donc l'expression de θ_f. est :

$$\theta_f = \frac{c_e(m + \mu_o)\theta_o + m'c'\theta'}{c_e(m + \mu_o) + m'c'} \quad (3)$$

V- Manipulation

V.1- Capacité thermique massique d'un solide

On donne : La capacité thermique de l'eau : $c_e = 4{,}18.10^3$ J. $K^{-1}.kg^{-1}$. *La valeur en eau du calorimètre et de ses accessoires* $\mu_0 = (30 \pm 1)$ *g, la masse de deux piéces de Cuivre et la masse d'une piéce de Laiton sont affichées sur la paillasse.*

La masse de deux piéces de Cuive

- Faire l'expérience suivante et répondre aux questions demandées.

a) Verser $V = 300cm^3$ d'eau à température ambiante dans le calorimètre. Attendre l'équilibre thermique et noter la température θ_0.
b) Introduire dans le calorimètre l'échantillon de cuivre (deux pieces de masse m_{Cu}) déjà chauffé dans l'eau bouillante (100°C). Agiter et décrire la variation de la température de l'eau du calorimètre en fonction du temps, noter la température d'équilibre θ_f.

c) Ecrire l'équation calorimétrique et en déduire la capacité thermique massique c_{Cu} du Cuivre. Comparer la valeur trouvée avec celle de la littérature.

- Reprendre les étapes a → c avec l'échantillon de laiton de masse m_L et déterminer la capacité thermique massique de laiton c_L. Comparer avec celle de la littérature.

Le tableau ci-apres regroupe les valeurs de la capacité thermique massique de quelques matériaux.

Matériau	c (J. K^{-1}. kg^{-1})
Aluminium	900
Fer	460
Cuivre	390
Plomb	130
Zinc	380
Laiton	377
Eau	4 180
Éthanol	2 400
Huile d'olive	1 200

V.2 - Mesures calorimétriques par la méthode électrique: équivalence joule/calorie

On se propose, dans cette partie, de déterminer le coefficient $J = W_e/Q$ par la méthode électrique :

$$J = \frac{W_e}{Q}$$

où W_e est l'énergie électrique exprimée en joule
Q est la quantité de chaleur équivalente exprimée en calorie.

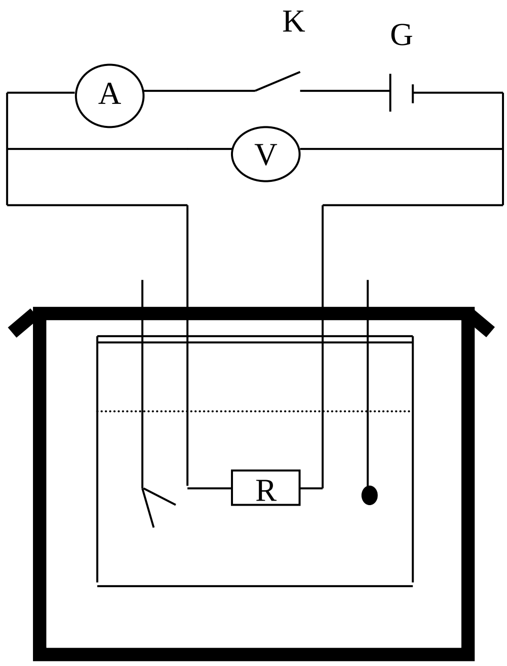
Pour cela on immerge une résistance électrique chauffante R dans le calorimètre (de valeur en eau μ_0) contenant une masse m_0 d'eau. Cette résistance est traversée par un courant I sous une tension continue U dont les valeurs sont indiquées respectivement par l'ampèremètre (A) et le voltmètre (V) (figure.2).

A l'instant $t_0 = 0$, l'ensemble (calorimètre-eau) est à la température θ_0. Le passage du courant électrique dans la résistance pendant la durée Δt entraîne une élévation ($\Delta\theta = \theta_f - \theta_o$) de la température de l'eau contenue dans le calorimètre. L'énergie électrique dissipée dans la résistance est W_e.

<u>Questions à répondre avant la séance de TP</u>.

a) Ecrire la relation liant W_e , U, I et Δt. En déduire la relation liant W_e , R, I et Δt.

b) Lorsque la température du calorimètre et de son contenu augmente de Δθ l'ensemble reçoit une quantité d'energie thermique notée Q. Ecrire la relation liant Q, m_o, c_e, μ_o et Δθ.



G: générateur de tension continue

K: interrupteur

A: ampèremètre

V: voltmètre

Figure 2 : Montage électrique utilisé.

Matériel utilisés

- Calorimètre avec résistance chauffante R et un agitateur
- Thermomètre
- Balance
- Alimentation continue
- Voltmètre et un ampèremètre
- Chronomètre

<u>Travail à faire au cours de la séance de TP</u>

- Réaliser le montage.

- Déterminer la masse du vase calorimétrique par pesée à la balance. Soit m_c cette masse.
- Remplir ce vase d'une masse m_0 *(450 ml)* d'eau.
- Replacer le vase dans le calorimètre, fermer et mettre en place le thermomètre.
- La température de l'eau dans le calorimètre doit être constante. Si elle varie avec le temps attendre qu'elle se stabilise. Soit θ_0 cette température.

a) Faire passer le courant pendant quelques minutes (*15 mn*) tout en respectant les consignes de votre enseignant. Pour cela fermer le circuit électrique et déclencher simultanément le chronomètre puis agiter doucement et constamment pour que la température de l'eau reste uniforme. Noter les valeurs de I, V, ΔI et ΔV. Ecrire le résultat trouvés sous la forme $(a \pm \Delta a)$ *unité.*

b) Après avoir coupé le courant, agiter constamment et suivre l'évolution de la température jusqu'à ce que l'on atteigne la température d'équilibre θ_f. Décrire la variation de la température en fonction du temps.

c) Calculer W_e et Q et en déduire le coefficient J en précisant les unités de chacune de ces trois grandeurs. Ecrire les résultats trouvés sous la forme $(a \pm \Delta a)$ *unité.*

Présenter les résultats obtenus sous forme de tableau:

We(Joule)	*ΔW_e(Joule)*	*Q(calorie)*	*ΔQ(calorie)*	*J(Joule/cal)*	*ΔJ(Joule/cal)*

On donne : $c_e = 10^3$ Cal. $K^{-1}.kg^{-1}$