BTS TPIL 1ère année	THERMODYNAMIQUE / MECANIQUE / CHIMIE

TP n°01 – MECANIQUE
CORRECTION
LES INCERTITUDES :
NOTION - NOTATION - EVALUATION

I – ERREURS ET INCERTITUDES

1°/ Mesures et incertitudes

2°/ Les erreurs

3°/ Les incertitudes

a. Incertitude absolue

Exemple: Longueur d'un objet: 153 mm **à 2 mm près**.

- La valeur exacte est comprise entre 153-2 = 151 mm et 153+2 = 155 mm.
- On peut écrire : 151 mm < Longueur < 155 mm

---

b. Incertitude relative

L'incertitude relative est le **rapport** entre **l'incertitude absolue et la mesure**.

Exemple: Mesurer 153 mm à 2 mm près donne une incertitude relative de 2/153 = 0,013 soit 1,3%.

Autres applications :

- Mesurer à 2 mm près la longueur d'un objet de 15 cm est d'une précision normale ;

L'incertitude de mesure vaut : 2/150 = 0,013 donc 1,3%.

- Mesurer à 2 mm près la longueur d'une salle de 10 m est très précis ;

L'incertitude de mesure vaut : 2/10000 = 0,0002 donc 0,02%.

- Mesurer à 2 mm près l'épaisseur d'un livre 20 mm est peu précis:

L'incertitude de mesure vaut : 2/20 = 0,1 soit 10 %.

4°/ Les chiffres significatifs

5°/ Les appareils de mesure

II – COMMENT EVALUER UNE INCERTITUDE ?

1°/ Calcul d'une incertitude

Applications :

- A l'aide d'un mètre à ruban, on mesure de la même manière la largeur de la table.
  On obtient l= 0,98 ± 0,01 m.
  Calculer le périmètre puis la surface de la table avec leur incertitude. Présenter les résultats comme vu dans le I-1°/.

On connait les formules du périmètre et de la surface de la table : P = 2(L+l) et S = L*l.
ΔP = 2ΔL + 2Δl donc ΔP = 2x0,01 +2*0,01 = 0,04 m.
P = 2x(0,98+2,09) = 6,14 m.

Donc **P = (6,14 $\pm$ 0,04) m.**

S = 2,09x0,98 = 2,05 m^2.
ΔS/S = ΔL/L + Δl/l donc ΔS/S = 0,01/0,98 + 0,01/2,09 = 0.01 + 0,005 = 0,015.
ΔS = 0,015xS = 0,015x2,05 = 0,03 m^2.

Donc **S = (2,05 $\pm$ 0,03) m^2.**

- A l'aide d'une table à coussin d'air, on mesure la vitesse d'un mobile autoporteur en mouvement de translation rectiligne en un point M donné: v = 0,56 $\pm$ 0.02 m. La masse du mobile est m = 650 $\pm 1\ g$.
  Calculer l'énergie cinétique du mobile en ce point M avec son incertitude.

On connait la formule de l'énergie cinétique : $\mathbf{E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}$ **;**
E_c = 0,5x0,650x$0,56^2$ = 0,102 J.
$\Delta E_c/E_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta m}{m} + 2 \cdot \frac{\Delta v}{v}$; donc $\Delta E_c/E_c$ = 0,5x(1/650) + 2x(0,02/0,56) = 0,07.

Finalement ΔE_c = 0,07xE_c = 0,07x0,10 = 0,007 J.

Donc **E_c = (0,102 $\pm$ 0,007) J.**

- De la même façon, en électricité la résistance d'un conducteur ohmique se détermine à l'aide des valeurs d'intensité du courant qui traverse le conducteur et tension à ses bornes. On trouve U = 5,36 $\pm 0.05\ V$ et I = 45 $\pm 1\ mA$. Calculer cette résistance ainsi que son incertitude.

On connait la formule de la loi d'Ohm : U = R.I ; Donc R = U/I ;
Donc ΔR /R = ΔU/U + ΔI/I = 0,05/5,36 + 1/45 = 0,032 ;
R = 5,36/0,045 = 119 Ω.
ΔR = Rx0,032 = 119x0,032 = 4Ω.

Donc **R = (119 $\pm$ 4) Ω**.

2°/ Incertitudes dues aux erreurs aléatoires

Application :

- On mesure avec un mètre à ruban dix fois la longueur d'une table. On obtient les valeurs suivantes exprimée en mètres : 2,12 ; 2,09 ; 2,10 ; 2,08 ; 2,11 ; 2,09 ; 2,11 ; 2,08 ; 2,09 et 2,07.
  Calculer l'intervalle de confiance dans lequel on a 99 % de chance de trouver la longueur de la table. En déduire l'incertitude relative de la mesure.

Le principe de calcul vu plus haut demande le calcul de la moyenne et de l'écart type. On peut donc utiliser EXCEL.

	A	B	C
1			
2			2,12
3			2,09
4			2,1
5			2,08
6			2,11
7			2,09
8			2,11
9			2,08
10			2,09
11			2,07
12			
13		Moyenne	2,094
14			
15		Ecart-type	0,01577621
16			
17			

Il faut ensuite se référer au tableau de STUDENT-FISCHER, on a effectué 10 mesures et on veut 99% de chances de trouver la longueur de la table ce qui donne : t = 2,764.
n = 10 (nombre de mesures).
s = 0,0157.
Donc $\Delta L = t.\frac{s}{\sqrt{n}} = 2{,}764 \,.\, \frac{0{,}0157}{\sqrt{10}} = 0{,}014$ m.

D'où **L = (2,090 $\pm$ 0,014) m.**

2°/ Mesure d'une masse volumique

- On ne peut pas exprimer directement la masse volumique du liquide étudié. Quelles grandeurs physiques entrent en jeu ? Exprimer la masse volumique en fonction de ces grandeurs.

La masse et le volume sont les deux grandeurs qui entrent en considération lorsqu'on mesure une masse volumique, qui est la masse par unité de volume : $\boldsymbol{\rho = \frac{m}{V}}$ **;**

- Sur votre feuille de compte-rendu de TP, écrivez précisément le protocole à suivre : il faut que chaque étape où une incertitude peut exister, apparaisse. ECRIRE UNE PHRASE DU TYPE : Erreur sur la mesure de ….. .

Dans une éprouvette graduée (qui n'est **pas** le récipient le plus précis dans une mesure de volume), on verse le liquide à étudier à partir d'un bécher (par exemple 200mL) ; le bas du ménisque indique le niveau réel du liquide : ERREUR SUR LA MESURE DU VOLUME.
On verse le contenu de l'éprouvette dans un bécher (que l'on aura taré au préalable) : ERREUR SUR LA MESURE DE MASSE.

- Réaliser proprement la mesure. On rappelle ici que l'expérimentateur peut être responsable d'une erreur supplémentaire si la manipulation n'est pas soignée.

Par exemple pour l'éthanol, pour un volume V = 150 mL, on mesure une masse m = 121,7 g.
Pour l'huile, pour V = 200 mL, on mesure m = 179,1 g.

- Evaluer les incertitudes absolues sur chaque mesure effectuée (pas de calcul, tout dépend ici de l'appareil et de l'utilisateur).

Δm = 0,1 g (nombre de digits) sur la balance et ΔV = 2mL (indication sur l'éprouvette dues aux graduations) ;

- Calculer la masse volumique du liquide étudié.

Pour l'éthanol, $\rho = \frac{121,7}{0,150} = 811$ kg.m^{-3} et pour l'huile, $\rho = \frac{179,1}{0,200} = 896$ kg.m^{-3} ;

$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V}{V}$ donc $\Delta\rho = \rho \cdot (\frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V}{V})$;

A.N : pour l'éthanol, $\Delta\rho = 811 \cdot (\frac{0.1}{121.7} + \frac{2}{200}) = 8,7$ kg.$^{m-3}$;

pour l'éhuile, $\Delta\rho = 896 \cdot (\frac{0.1}{121.7} + \frac{2}{200}) = 9,7$ kg.$^{m-3}$;

D'où $\boldsymbol{\rho éthanol}$ **= (811 ± 9) kg.m^{-3} & $\boldsymbol{\rho huile}$= (896 ± 10) kg.m^{-3}.**

On remarque qu'en ce qui concerne l'éprouvette, l'incertitude absolue est donnée de façon définitive (quelle que soit la mesure), il est donc impératif de prendre un volume qui utilise un maximum de place dans cette éprouvette, ce qui minimise l'incertitude relative$\frac{\Delta V}{V}$. On rappelle ici que la correction a été faite avec une éprouvette de 250 mL, pour une éprouvette de 500mL, l'incertitude absolue est de 5mL…

III – MODELISATION D'UNE GRANDEUR

- On mesure T(°C) = f(t), ce qui signifie la température de l'eau (donnée par un thermomètre) en fonction du temps (donné par un chronomètre). Lorsque le dispositif est bien en place, commencer les mesures et noter les résultats dans le tableau.

Résultats donnés avec U = 5,2 V et I = 2,50 A, pour une masse m_{eau} = 662,0 g.

Δt (s)	0	60	120	180	240	300	420	480	540	600
T(°C)	28.8	29.1	29.3	29.5	29.8	30.1	30.3	30.5	30.8	31.3

- Evaluer ΔT (à l'aide des documents de fournisseurs en ANNEXE) et Δt (évaluation raisonnable de l'utilisateur). Tracer T(°C) = f(t) et faire apparaître les incertitudes liées à la température et au temps sur le graphe sous forme de barres d'erreur.

Δt = 1 s (lecture + réaction); ΔT = 0.1 °C. (digits sur le thermomètre).
VOIR GRAPHIQUE ;

- Que peut-on dire de l'allure de cette courbe ?

C'est une droite.

- Assurez-vous que le modèle passe bien par tous les points (barres d'erreurs comprises). Eliminer certains points si nécessaire. Calculer A le coefficient directeur (ou pente) de ce modèle.

VOIR GRAPHIQUE ;

- Tracer proprement la droite (passant par tous les points ou les barres d'erreur) qui possède le coefficient directeur le plus important. Calculer ce coefficient directeur.

VOIR GRAPHIQUE ;

- Tracer une seconde droite avec le coefficient directeur le plus petit. Le calculer également.

VOIR GRAPHIQUE ;

- Donnez votre valeur de ΔA en vous servant des deux résultats précédents.

VOIR GRAPHIQUE ;

- Reproduire et remplir le tableau suivant :

ΔU	$\pm 0{,}5\% + 2\ digits\colon\ 0{,}05\ V$
ΔU/U	$\frac{0{,}05}{5} = 0{,}01$
ΔI	$\pm 0{,}5\% + 2\ digits\colon\ 0{,}05\ A$
ΔI/I	$\frac{0{,}05}{2{,}50} = 0{,}02\ A$
Δ(UI)/UI	$\frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} = 0{,}03$
Δ(UI)	0,03*5*2,50 = 0,38W
1/A *Δ(UI)	93 SI
Δm_{eau}	0,1 g (voir indication de la balance)
c_{eau} * Δm_{eau}	0,418 $J.K^{-1}$

- Pour terminer, calculer la valeur de C_{calo} du calorimètre avec son incertitude sachant que :

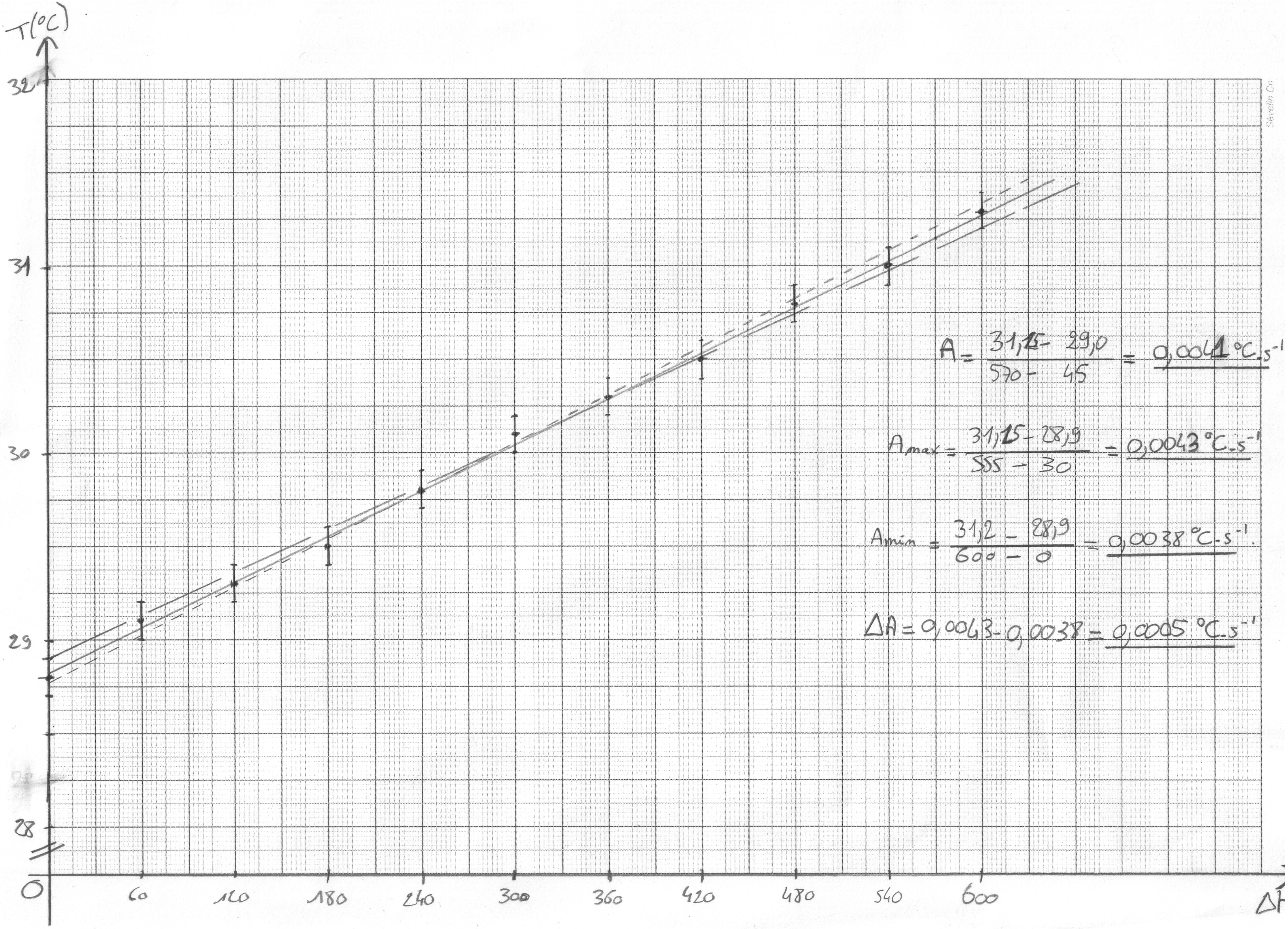
$$C_{Calo} = \frac{U.I}{A} - m_e.c_e$$

A.N : C_{calo} = 404 $J.K^{-1}$;

$\Delta C_{calo} = \frac{1}{A}\ \Delta(UI) + \Delta(m_e \cdot c_e)$; **A.N :** ΔC_{calo} =93,5 $J.K^{-1}$;

Donc: **C_{calo} = (404 ± 94) $J.K^{-1}$;**

Ce résultat peut paraître étonnant, surtout du point de vue de l'incertitude, on peut alors se demander si l'appareillage utilisé ne peut pas être plus précis (multimètre et surtout thermomètre où l'incertitude est de 0,1°C pour des valeurs qui n'augmentent que de 0,3°C à la fois…) de façon à limiter ΔC_{calo}.



$$A = \frac{31{,}15 - 29{,}0}{570 - 45} = \underline{0{,}0041\ °C.s^{-1}}$$

$$A_{max} = \frac{31{,}15 - 28{,}9}{555 - 30} = \underline{0{,}0043\ °C.s^{-1}}$$

$$A_{min} = \frac{31{,}2 - 28{,}9}{600 - 0} = \underline{0{,}0038\ °C.s^{-1}}.$$

$$\Delta A = 0{,}0043 - 0{,}0038 = \underline{0{,}0005\ °C.s^{-1}}$$