

## Mesures et Incertitudes

<p><b>Compétences travaillées :</b></p> <p><u>Estimer l'incertitude d'une mesure</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Connaître et utiliser le vocabulaire lié aux erreurs de mesure</li><li>• Choisir un matériel scientifique en relation avec une précision attendue</li><li>• Réaliser une étude statistique et calculer un écart-type, un intervalle de confiance</li><li>• Présenter un résultat de mesure : notations, chiffres significatifs, arrondis, etc.</li></ul> <p><u>Définir les conditions d'utilisation d'un instrument</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Apprécier les qualités d'un instrument de mesure : fidélité, sensibilité, justesse</li></ul>
<p><b>Thème d'appui à l'activité :</b></p> <p>Les balances du laboratoire, préparer une solution.</p>
<p><b>Support de l'activité :</b></p> <p>Activités expérimentales et exercice conçus pour deux séances d'une heure d'accompagnement personnalisé en 1<sup>ère</sup>S</p>
<p><b>Résumé :</b></p> <p>Une sensibilisation à la métrologie et aux incertitudes de mesures est menée à partir de trois activités expérimentales concernant des pesées.</p> <p>Une étude documentaire permet de schématiser les qualités d'un instrument de mesure.</p> <p>La dernière activité est un exercice concernant les dilutions CH homéopathiques.</p>
<p><b>Mots clefs :</b> mesure, incertitude, confiance</p>
<p><b>Auteur et établissement :</b> Françoise Marcadet, Lycée Alain Fournier, Bourges.</p>

**Activité n°1 : Une approche de la mesure en métrologie :  
Sensibilisation à l'incertitude d'une mesure de masse par pesée**

**L'objectif :**

Lors de la mesure de la masse d'un objet, observer qu'une balance donne une indication qui peut varier.

**Protocole 1 :**

Vous avez à disposition une balance et une masse de 100 g.

- Mettre la balance à zéro au début de l'essai
- Placer la masse de 100 g à différents endroits du plateau et observer

Résumer en une phrase en quoi consiste l'incertitude d'excentricité.

**Protocole 2 :**

Vous avez à disposition une balance et une masse de 10 g.

- Mettre la balance à zéro au début de l'essai
- Réaliser 10 mesures de charge et observer.

Résumer en une phrase en quoi consiste l'incertitude de répétabilité.

L'expérimentateur peut limiter voir annuler une de ces incertitudes. Laquelle et comment ?

**Activité n°2 : Une approche de la mesure en métrologie :  
Sensibilisation au vocabulaire**

Les termes : dispersion, justesse, fidélité, résolution sont souvent utilisés :

**Document : Sources des incertitudes** - extraits du livre numérique « Probabilités, statistiques et analyses multicritères », Auteur M. Rouaud.

Livre numérique : [www.incertitudes.fr/proba-stat-acp/livre.pdf](http://www.incertitudes.fr/proba-stat-acp/livre.pdf)

Ce livre est sous licence Creative Commons Attribution-Non Commercial 3.0.

*Une variable aléatoire a une incertitude d'autant plus faible que la mesure est fidèle, juste et que le système d'acquisition a une bonne résolution.*

*La justesse est assurée par l'absence d'erreurs systématiques. Il peut exister un biais qui rend la mesure inexacte (même si la dispersion est faible) : Erreurs de lecture, absence de contrôle et de corrections de facteurs influents, incertitude due à la modélisation, etc. Tous les biais doivent être identifiés et estimés afin d'être ajoutés à la dispersion, le système devient alors juste.*

*La fidélité provient de la répétabilité et de la reproductibilité des mesures. Les valeurs d'un système fidèle sont peu dispersées.*

*Les expérimentateurs par un travail propre, consciencieux et selon un protocole bien défini et réfléchi, pourront minimiser la dispersion.*

*La résolution de l'instrument de mesure, dépend de la taille des graduations, du type du vernier ou du nombre de digits de l'affichage.*

*L'influence de ces différentes sources d'incertitude peut être illustrée par une cible et des flèches.*

*La cible correspond à la grandeur à mesurer et les flèches représentent les différentes mesures.*



figure 1

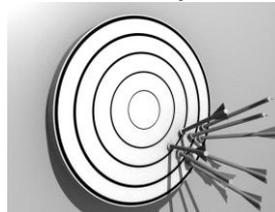


figure 2



figure 3

### Questions :

1. Par quoi la résolution de l'instrument de mesure est-elle symbolisée sur les figures du document ?
2. Faire correspondre les trois expressions ci-dessous avec les figures du document :
  - a- Mesures justes, fidèles et avec une bonne résolution
  - b- Mesures justes, mais peu fidèles et avec une faible résolution
  - c- Mesures fidèles, inexactes et avec une faible résolution
3. Si vous aviez oublié de tarer la balance dans le protocole 2 de la première activité, quelle figure auriez-vous obtenu ?

## Activité n°3 : Une approche de la mesure en métrologie : Incertitude de la mesure d'une masse par pesée

### L'objectif :

Evaluer l'incertitude qui affecte un mesurage de masse quand on utilise dans des conditions similaires l'une des balances du laboratoire prise au hasard.

### Protocole :

Vous avez à disposition dans la salle 7 balances ayant des caractéristiques nominales identiques et une masse de 50 g est disponible au bureau.

- Mettre la balance à zéro au début de l'essai.
- Réaliser une pesée et relever la valeur lue.
- Renseigner un tableau : n° de balance ; mesure m en g.

### Questions :

1. Calculer l'écart-type expérimental  $s_{\text{exp}}$ .
2. Calculer l'incertitude-type  $s$ .
3. Calculer l'incertitude de mesure.
4. Exprimer le résultat du mesurage sous la forme :  $M = m \pm \Delta M$ , unité, niveau de confiance. On prendra un niveau de confiance de 95%.
5. Un de vos camarades arrive en retard, il désire lui aussi participer à la séance, mais le professeur vous demande de lui expliquer que le résultat de sa mesure est prévisible. Pour cela, il suffit de traduire par une phrase le résultat du 4°. Que lui diriez-vous ?

### Rappels mathématiques :

$$s_{\text{exp}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \dots \sigma_{n-1} \text{ des calculatrices}$$

Avec  $n$  le nombre de mesures,  $\bar{x}$  moyenne arithmétique :  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  et l'incertitude-type  $s$  est telle que :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n}} s_{\text{exp}}$$

→ expression complète du résultat du mesurage :  $X = x \pm \Delta X$  ; unité ; niveau de confiance

Avec les notations de métrologie :  **$x$  la mesure** de la valeur de la grandeur (un nombre),  **$\Delta X$  l'incertitude de mesure** ou **intervalle de confiance** et  **$X$  le résultat de la mesure**.

### **Incertitude-type élargie et niveau de confiance :**

L'incertitude-type élargie est  $\Delta X$  et elle s'exprime sous la forme  $\Delta X = k \times s$  où  $k$  est le facteur d'élargissement. Il dépend du nombre de mesures mais pour simplifier, on prendra  $k = 2$  pour un niveau de confiance de 95%.

## Activité n°4 : Une approche de la mesure en métrologie : Utiliser des incertitudes pour cadrer à un cahier des charges

### La trame :

Lors du TP « Composition en colorants du sirop de menthe », une gamme de solutions titrées a été fabriquée à partir d'une solution mère de colorant bleu brillant E133 de concentration massique  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  à 5 % près.

Il s'agit, en se plaçant dans les conditions du laboratoire, de proposer un protocole permettant de fabriquer un litre de cette solution.

### Matériels disponibles au laboratoire :

Produit :



colorant bleu brillant en poudre :  
pureté 100 %,  $MM=792,848 \pm 0,05 \text{ g.mol}^{-1}$

Balances :

D'après les données constructeurs, une estimation des incertitudes est indiquée sur une étiquette à côté du matériel présent (il n'est pas fait mention de niveau de confiance) :

Étiquettes :

Balance 1, modèle CL201 :  $\Delta M=0,2 \text{ g}$

Balance 2, modèle NV212 :  $\Delta M=0,03 \text{ g}$

Verrerie initiale :

Fiole jaugée de 1000 mL :  $\Delta V=0,5 \text{ mL}$

### Questions :

1. L'utilisation de ces balances vous paraît-elle adéquate pour effectuer la pesée demandée ? Justifier la réponse.
2. Quelle est l'incertitude relative sur la mesure du volume de un litre ?
3. Vous ne disposez pas de balances supplémentaires, par contre vous disposez de diverses fioles et pipettes jaugées. En ne prenant en compte que la seule incertitude relative sur la pesée, proposer un protocole permettant de fabriquer la solution de colorant demandée.  
A l'issue de votre protocole, exprimer le résultat  $C_M = C_m \pm \Delta C_M$ .

## Activité n°5 : L'industrie pharmaceutique homéopathique: La dilution CH

Créé par le docteur Hahnemann au 18<sup>ème</sup> siècle, l'homéopathie est une méthode thérapeutique alternative qui vise à soigner l'être humain en lui administrant des doses infinitésimales.

La solution mère appelée teinture mère contient  $10^{+24}$  molécules, les dilutions « Hahnemannienne » dites « CH » en contiennent :

<b>CH</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	>12
<b>nombre de molécules</b>	$10^{22}$	$10^{20}$	$10^{18}$	$10^{16}$	$10^{14}$	$10^{12}$	$10^{10}$	$10^8$	$10^6$	$10^4$	$10^2$	1	0

1. Quelle est la concentration  $C_0$  en  $\text{mol.L}^{-1}$  d'un litre de teinture mère ?
2. Quelles sont les concentrations des solutions à 1 CH, 7 CH.
3. Quelle est la valeur du facteur de dilution entre la teinture mère et la solution à la plus concentrée ?
4. Pouvez-vous concevoir un dispositif permettant d'obtenir une solution à 7 CH avec une bonne incertitude relative ?

Documents annexes :

Modèles de balance pour l'activité 4 :

Balance 1, modèle CL201

Balance 2, modèle NV212



## Balances compactes électroniques, portables, série CL

### Spécifications

Modèles	CL201	CL501	CL2000	CL5000
Capacité (g)	200	500	2000	5000
Précision (g)	0,1	0,1	1	1
Reproductibilité (écart type) (g)	0,1	0,1	1	1
Linéarité (g)	± 0,1	± 0,1	± 1	± 1
Unités de pesage	g, lb:oz, ozt, dwt			
Plage de tare	À la capacité par soustraction			
Temps de stabilisation	3 secondes			
Temp. fonctionnement optimal	18° à 25°C			
Alimentation	3 piles AA (incluses) Adaptateur CA (en option)			
Durée utilisation pile	300 heures			
Calibrage	Calibrage digital à partir du clavier			
Affichage (cm)	LCD (hauteur caractères 1,2)			
Dimension du plateau (cm)	12,0			
Dimensions Larg x Haut x Prof (cm)	14 x 4,0 x 20			
Poids net (g)	400			



## Navigator™ Balances portables

### Modèles standard – Navigator™

Modèle <sup>1</sup>	NV212	NV511	NV1101	NV2101	NV4101	NV5101	NV311M	NV3100M
Portée	210 g	510 g	1 100 g	2 100 g	4 100 g	5 100 g	310 g	3 100 g
Précision	0,01 g	0,1 g	0,1 g	0,1 g	0,2 g	0,5 g	0,1 g	1 g
Intervalle de vérification e	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,1 g	1 g
Reproductibilité	0,01 g	0,1 g	0,1 g	0,1 g	0,2 g	0,5 g	0,1 g	1 g
Linéarité	±0,02 g	±0,2 g	±0,2 g	±0,2 g	±0,4 g	±1 g	±0,1 g	±1 g
Poids de calibrage de la portée	200 g	300 g	500 g	1 kg	2 kg	3 kg	200 g	2 kg
Poids de calibrage de la linéarité	100 g, 200 g	300 g, 500 g	500 g, 1 000 g	1 kg, 2 kg	2 kg, 4 kg	3 kg, 5 kg	200 g, 300 g	2 kg, 3 kg
Applications	Pesage, pesage en pourcentage, comptage de pièces, contrôle du poids, maintien de l'afficheur, accumulation/totalisation							
Unités de pesée	Gramme, kilogramme, livre, once (décimale ou fractionnée), livre:once (décimale ou fractionnée), once de Troy, grain, newton, carat, dwt, tael (Hong Kong, Taiwan, Singapour), tical, tola						Gramme	Gramme, kilogramme
Alimentation sur batterie	4 piles (LR6) AA (non fournies)							
Dimensions du plateau (l x p)	Ø 120 mm	190 x 138 mm					Ø 120 mm	190 mm x 138 mm
Dimensions de la balance (l x p x h)	204 x 212 x 58 mm							
Dimensions d'expédition (l x p x h)	305 x 255 x 134 mm							
Poids net	0,9 kg							
Poids à l'expédition	1,4 kg							
Gamme de température de fonctionnement	10 °C à 40 °C						0 °C à 40 °C	

Verrerie du laboratoire:

Matériel	Capacité (mL)	classe ( $\pm$ mL) (.../... varie selon modèle et marque)
Fioles jaugées Classe A (20°C)	1000	0,4
	500	0,25
	250	0,15 / 0,20
	200	0,10 / 0,15
	100	0,10 / 0,15
	50	0,05
Pipettes jaugées Classe A (20°C)	50	0,05
	25	0,03
	20	0,03
	10	0,020
	5	0,010
Pipettes jaugées Classe B (20°C)	25	0,06
	10	0,04