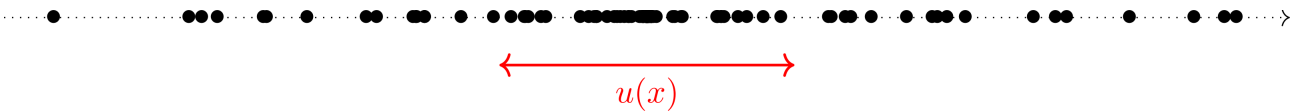




### 1. Incertitude-type d'une mesure

L'incertitude-type  $u$  est une estimation que l'on fait de la dispersion des valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une mesure. L'incertitude-type permet d'écrire le résultat d'une mesure de façon légitime.



### 2. Présentation du résultat d'une mesure

Le résultat d'une mesure s'écrit  $M = m \pm u(m)$  avec  $u(m)$  incertitude-type, arrondie au plus proche à un seul chiffre significatif. Le dernier chiffre significatif pour  $m$  est celui sur lequel porte l'incertitude-type.

### 3. Estimations des incertitudes-types d'une mesure unique (Type B) (Classe de 1<sup>re</sup>)

#### 3.1. Instruments gradués<sup>2</sup>

- N'importe quelle mesure peut être mise sous la forme d'un encadrement. L'incertitude-type est alors la demi-largeur de cet encadrement :  $u(m) = \frac{m_{max.} - m_{min.}}{2}$  pour une mesure  $m = \frac{m_{max.} + m_{min.}}{2}$ .
- Dans le cas où l'encadrement est dû à la résolution de l'instrument, les incertitudes-types sont donc :

|                 |  |  |
|-----------------|--|--|
| <b>Débutant</b> | $u(m) = \text{plus petite graduation}$           | La largeur de l'encadrement est de deux graduations. |
| <b>Expert</b>   | $u(m) = \frac{\text{plus petite graduation}}{2}$ | La mesure « rentre » dans une seule graduation.      |

#### 3.2. Verrerie<sup>3</sup>

Pour les instruments de verrerie, l'incertitude de volume  $u(V)$  cumule les incertitudes d'étalonnage, de lecture et de température.

|                        |                          |   |
|------------------------|--------------------------|---|
| <b>Verrerie jaugée</b> | $u(V) = 1,5 \times t$    | $t$ , tolérance indiquée sur l'instrument |
| <b>Burette</b>         | $u(V) = 0,05 \text{ mL}$ | 25 mL - Classe A                          |

#### 3.3. Affichages numériques<sup>3</sup>

On utilise la valeur, ou la formule, fournie par le fabricant.

|                    |                                       |  |
|--------------------|---------------------------------------|--|
| <b>Balance</b>     | $u(m) = 0,02 \text{ g}$               | Adam Equipment - CQT-202                   |
| <b>pH-mètre</b>    | $u(\text{pH}) = \pm 1 \%$             | Chauvin Arnoux - PSD 21                    |
| <b>Thermomètre</b> | $u(T) = 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$   | HANNA instruments - Checktemp 1 - HI98509  |
| <b>Voltmètre</b>   | $u(U) = (0,5 \% + 1 \text{ digit}) V$ | Jeulin - CL3 et CL3005 - DC, toutes gammes |

#### 4. Résultats collectifs (Type A)® (Classe de 2<sup>nd</sup>e)

- Le résultat d'une mesure collective est la moyenne arithmétique  $\bar{m}$  des différentes mesures :  $\bar{m} = \frac{\sum m_i}{n}$  où n est le nombre de mesures indépendantes  $1 < i \leq n$ .
- L'incertitude-type  $u(m)$  est calculée selon la formule :  $u = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$  où  $\sigma_{n-1}$  est l'écart-type de la série de mesure.

|                             | LibreOffice Calc | Calculatrice Ti | Numworks  | Python                    |
|-----------------------------|------------------|-----------------|-----------|---------------------------|
| Obtention de $\bar{m}$      | MOYENNE()        | $\bar{x}$       | $\bar{x}$ | numpy.average(data)       |
| Obtention de $\sigma_{n-1}$ | ECARTYPE()       | Sx              | s         | numpy.std(data, ddof = 1) |

#### 5. Cas particuliers

##### 5.1. Regressi : Incertitude-type sur le volume équivalent d'un titrage – Méthode des tangentes

Dans Regressi, depuis l'onglet « Graphe » le menu « Outils gr. » permet d'accéder au tracé des tangentes. En choisissant « Tangentes déplaçables » on peut rapidement évaluer un encadrement du volume équivalent, en plaçant plusieurs tangentes au voisinage du saut de pH.

L'incertitude-type est alors la demi-largeur de cet encadrement :  $u(V_{\text{éq}}) = \frac{V_{\text{éq-max.}} - V_{\text{éq-min.}}}{2}$  pour un volume équivalent  $V_{\text{éq}} = \frac{V_{\text{éq-max.}} + V_{\text{éq-min.}}}{2}$ .

##### 5.2. Incertitudes-types sur les paramètres d'un modèle affine

Dans LibreOffice Calc, la fonction DROITEREG() permet d'obtenir directement les incertitudes-types sur le coefficient directeur a et sur l'ordonnée à l'origine b, d'une régression linéaire du type  $y = a \cdot x + b$ .

- ↳ DROITEREG(I3:I12;H3:H12;1;1) où I3:I12 et H3:H12 sont les plages des données utilisées pour la régression.
- ↳ Valider par CTRL+MAJ+ENTRÉE
- ↳ Les résultats sortent sous forme de tableau.

|                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Coefficient directeur « a »   | Ordonnée à l'origine « b »    |
| Incertitude-type sur a : u(a) | Incertitude-type sur b : u(b) |
|                               |                               |
|                               |                               |
|                               |                               |

#### 6. Composition des incertitudes-types® (Classe de T<sup>le</sup>)

La formule est de la forme :  $\left(\frac{u(C_{\text{titrée}})}{C_{\text{titrée}}}\right)^2 = \left(\frac{u(C_{\text{titrante}})}{C_{\text{titrante}}}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{\text{titrée}})}{V_{\text{titrée}}}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{\text{éq. titrante}})}{V_{\text{éq. titrante}}}\right)^2$ . Elle est systématiquement donnée dans l'énoncé.

#### 7. Compatibilité d'une mesure avec une référence

Un résultat expérimental m est dit compatible avec une valeur de référence  $m_{\text{réf.}}$  si il ne s'en écarte pas de plus de deux incertitudes-types :  $|m - m_{\text{réf.}}| \leq 2 \times u(m)$ .

Le quotient z appelé z-score doit être inférieur ou égal à 2 :  $z = \frac{|m - m_{\text{réf.}}|}{u(m)} \leq 2$ .