

# Incertitudes sur les mesures

## 1 La précision d'une mesure

Chaque mesure réalisée en TP comporte une certaine imprécision ou **incertitude**, qui dépend de la précision de l'instrument de mesure.

Il ne s'agit pas d'une erreur à proprement parler (si une erreur a été commise lors d'une mesure, il faut recommencer...), mais plutôt d'une limite de la technique de mesure, c'est-à-dire une erreur systématique qui ne peut pas être évitée, même avec le plus grand soin.

En première approche, l'incertitude de mesure correspond en général à la plus petite graduation lisible sur l'appareil, ou au plus petit chiffre que l'appareil affiche. On exige de vous que vous analysiez les causes d'erreurs avec un esprit critique, cette première approche est donc insuffisante au niveau Terminale S.

Pour toute mesure en TP, vous devez être capable d'estimer l'incertitude.

**Exemples** d'incertitudes de mesure avec différents instruments :

- Double décimètre ou mètre-ruban : 0,1 cm ;
- Règle de maître d'école : 1 cm ;
- Pied à coulisse : 0,01 cm ;
- Rapporteur d'angle : 1° ;
- pH-mètre : 0,1 unités de pH ;
- Volume la verrerie graduée : 0,1 mL ;
- Volume la verrerie jaugée : 0,01 mL.

## 2 Les chiffres significatifs

Les chiffres significatifs d'un nombre sont les chiffres écrits en partant de la gauche, à partir du premier chiffre différent de zéro.

Typiquement en physique-chimie quand on écrit 3 000 cela signifie quatre chiffres significatifs, ce n'est ni 3 001 ni 2 999.

**Exemples** de décomptes de chiffres significatifs :

- 3,14 a trois chiffres significatifs ;
- 0,00314 a trois chiffres significatifs ;
- 3,00 a trois chiffres significatifs ;
- 0,00300 a trois chiffres significatifs ;
- 0,003 a un chiffre significatif ;
- 3 000 000 a sept chiffres significatifs.

Le **résultat d'une mesure** doit être exprimé avec un nombre de chiffres significatifs correspondant aux chiffres réellement accessibles par la mesure. C'est-à-dire que le nombre de chiffres significatifs dépend donc de la précision de la mesure.

Le **résultat d'un calcul** doit être exprimé avec un nombre de chiffres significatifs correspondant au plus petit nombre de chiffres significatifs présents parmi les valeurs utilisées pour le calcul. Attention, les nombres mathématiques comme le 2 dans  $P = 2\pi R$  sont censé être connus parfaitement, avec une précision infinie !

Le nombre de chiffres significatifs d'un résultat ne peut pas dépasser celui de la donnée de plus faible nombre de chiffres significatifs.

### 3 Notation de l'incertitude

Soit une mesure notée  $\ell$ . Exemple :  $\ell = 25,0$  cm. L'incertitude sur cette mesure est notée  $U(\ell)$ . Exemple :  $U(\ell) = 0,1$  cm.

L'incertitude d'une mesure est toujours exprimée avec un seul chiffre significatif, voire au maximum deux chiffres significatifs au maximum.

Pour être plus bref, on exprime l'incertitude avec le signe plus ou moins  $\pm$  :

$$\ell = 25,0 \pm 0,1 \text{ cm}$$

Pour une mesure  $M$  d'intervalle de confiance centré sur la valeur  $m$  et de demi-largeur ou incertitude de mesure  $U(M)$ , le résultat de la mesure est noté :

$$M = m \pm U(M)$$

Si elle existe, l'unité est précisée.

La valeur  $m$  sera arrondie avec le dernier chiffre significatif à la même position décimale que le dernier chiffre significatif de l'incertitude. Exemple :

$$e = (1,602 \pm 0,053) \times 10^{-19} \text{ C}$$

### 4 Incertitude relative

L'incertitude relative correspond à l'incertitude divisée par la valeur. Exemple :

$$\frac{U(\ell)}{\ell} = \frac{0,1}{25,0} = 0,004$$

En général, on exprime l'incertitude en pourcentage (ici 0,4%). C'est un indicateur de la qualité de la mesure : plus elle est petite et plus la mesure est précise. Généralement, pour une mesure  $M$  de valeur  $m$  on considère que :

Si  $\frac{U}{m} \leq 1\%$ , la mesure est de bonne qualité.

### 5 Propagation des incertitudes

#### 1. Sommes ou différences

Quand on a une somme de deux grandeurs  $a$  et  $b$ , d'incertitudes respectives  $U(a)$  et  $U(b)$ , l'incertitude sur la somme des deux est :

$$S = a + b \Rightarrow U(S) = \sqrt{(U(a))^2 + (U(b))^2}$$

S'il s'agit d'une différence  $D = a - b$ , à nouveau les carrés des incertitudes s'additionnent sous la racine carrée (cas le plus défavorable, ou une incertitude sur un terme n'est pas compensée par une incertitude sur un deuxième terme).

Remarque : en Terminale, cette formule sera toujours donnée.

## 2. Produits ou fractions

Si l'on considère maintenant un produit  $P = a \times b$ , il faut considérer les incertitudes relatives :

$$P = ab \Rightarrow \frac{u(P)}{P} = \sqrt{\left(\frac{U(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{U(b)}{b}\right)^2}$$

S'il s'agit d'une fraction  $Q = a/b$ , à nouveau les carrés des incertitudes relatives s'additionnent sous la racine carrée (cas le plus défavorable).

Remarque : en Terminale, cette formule sera toujours donnée.