

Mesures et incertitudes

Cours de sciences physiques - niveau 2de

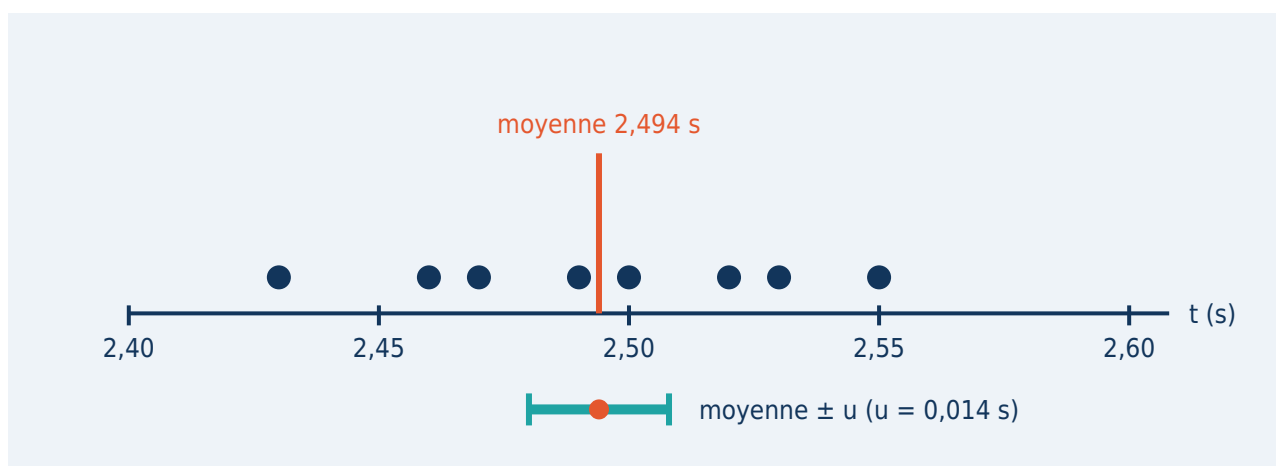
Puis, tu chronométrés la chute d'une bille : 2,46 s, puis 2,52 s, puis 2,49 s. Aucune de ces valeurs n'est « la bonne », et pourtant la physique repose sur elles. Par ailleurs, ce chapitre sur les **mesures et incertitudes** t'apprend à tirer un résultat honnête d'une série de mesures, à l'écrire avec le bon nombre de chiffres et à le comparer à une valeur attendue.

L'essentiel : Toute mesure est entachée d'une incertitude. Pour n mesures, l'incertitude-type sur la moyenne vaut $u(x) = \frac{s}{\sqrt{n}}$, où s est l'écart-type expérimental. Le résultat s'écrit $x = \bar{x} \pm U$, avec $U = 2u$ pour environ 95 % de confiance. Exemple : 10 mesures de masse donnent $m = 25{,}3 \pm 0{,}2$ g.

Ainsi, ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

Pourquoi les mesures ont-elles des incertitudes ?

Mesurer une grandeur, c'est la comparer à une unité à l'aide d'un instrument. Si on recommence plusieurs fois dans les mêmes conditions, on obtient presque toujours des valeurs un peu différentes : c'est la **variabilité** des mesures. Puis elle vient de l'instrument (graduation, résolution), de l'opérateur (temps de réaction, parallaxe de lecture), de la grandeur elle-même (qui fluctue) et du protocole. Ensuite, la valeur vraie de la grandeur reste inconnue : on ne peut qu'en donner une **estimation** accompagnée d'un doute chiffré.



Huit mesures de la même durée : elles se dispersent autour d'une moyenne, et l'intervalle moyenne $\pm u$ est bien plus étroit que l'étendue des mesures.

L'incertitude-type d'une série de mesures

Par ailleurs, pour une série de n mesures $x_1, x_2, \dots, x_n$ d'une même grandeur, on calcule d'abord la **moyenne** $\bar{x}$, qui est la meilleure estimation de la valeur. Puis on mesure ensuite la dispersion par l'**écart-type expérimental** s (touche σ_{n-1} ou « s_x » de la calculatrice en mode statistiques). L'**incertitude-type** sur la moyenne est alors :

FORMULE À RETENIR

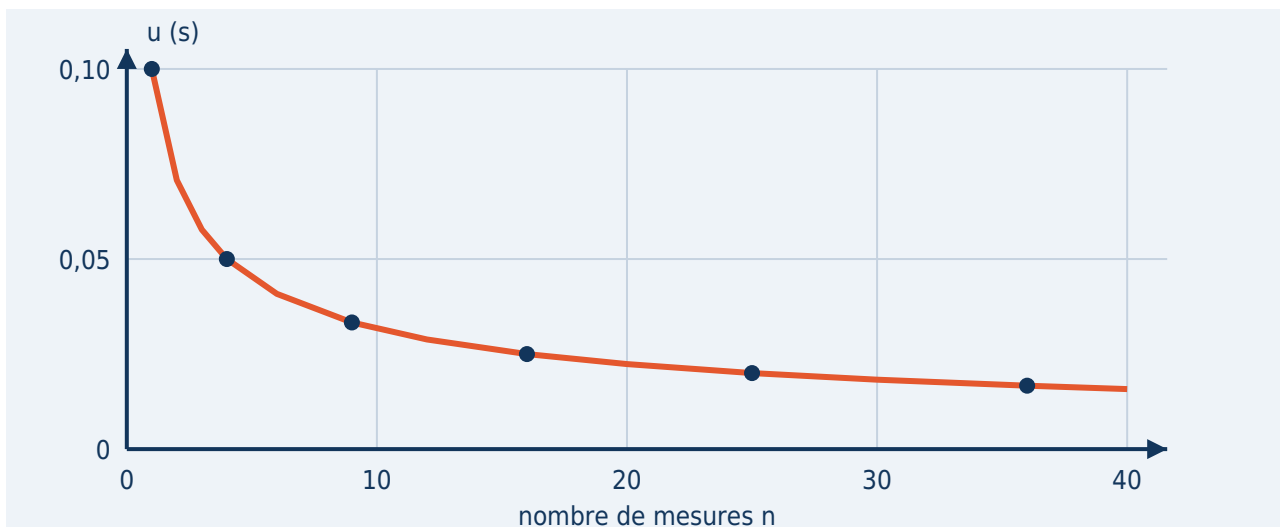
$$u(x) = s \div \sqrt{n}$$

s et $u(x)$ s'expriment dans la même unité que la grandeur mesurée ; n est le nombre de mesures.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Huit durées de chute (en s) : 2,46 ; 2,52 ; 2,49 ; 2,55 ; 2,43 ; 2,50 ; 2,47 ; 2,53. De plus, la moyenne vaut 2,494 s ; l'écart-type $s = 0,040$ s ; donc $u = 0,040 \div \sqrt{8} = 0,040 \div 2,83 \approx \mathbf{0,014\text{ s}}$.

De plus, la formule montre un fait important : **répéter les mesures diminue l'incertitude**, mais lentement. Ensuite, pour diviser u par 2, il faut 4 fois plus de mesures ; pour la diviser par 10, il en faut 100 fois plus.



Pour $s = 0,10$ s : u passe de 0,10 s (une mesure) à 0,05 s (4 mesures), puis 0,033 s (9 mesures), 0,025 s (16 mesures)... La courbe s'aplatit vite.

L'incertitude de type B : lire un instrument

Donc, quand on ne peut faire qu'une seule lecture (éprouvette, thermomètre, règle), on estime l'incertitude à partir de l'instrument. Si la graduation vaut g , la valeur lue est connue à $\pm g/2$ près, et on prend :

FORMULE À RETENIR

$$u(x) = g \div \sqrt{12} \approx 0,29 \times g$$

g : plus petite graduation de l'instrument, dans l'unité de la grandeur.

EXEMPLE

Enfin, une éprouvette graduée tous les 2 mL indique un niveau à 46 mL : $u = 2 \div \sqrt{12} = 0,577$ mL, arrondi par excès à **0,6 mL**. Par ailleurs, on écrit $V = 46,0 \pm 0,6$ mL.

Écrire un résultat avec les bons chiffres

Ensuite, les **chiffres significatifs** sont les chiffres qui portent une information : on les compte à partir du premier chiffre non nul à gauche. Puis les zéros situés à gauche ne comptent pas ; ceux de droite comptent.

Nombre	Chiffres significatifs	Remarque
0,0450	3	les zéros avant le 4 ne comptent pas
5,0	2	le zéro final est significatif
$4,05 \times 10^{-3}$	3	la notation scientifique lève l'ambiguïté
1200	2, 3 ou 4	ambigu : écrire $1,2 \times 10^3$ ou $1,20 \times 10^3$

MÉTHODE

1) On arrondit l'incertitude-type **par excès à un seul chiffre significatif**. 2) On arrondit la valeur mesurée **au même rang décimal** que l'incertitude. 3) On écrit $x = \text{valeur} \pm u$, avec l'unité. Ensuite, dans les calculs, le résultat d'un produit ou d'un quotient a autant de chiffres significatifs que la donnée la moins précise ; pour une somme, on garde le nombre de décimales de la donnée la moins précise.

EXEMPLE

Puis, pour les huit durées de chute : $u = 0,014$ s est arrondie par excès à 0,02 s ; la moyenne 2,494 s est arrondie au centième : 2,49 s. Résultat : **$t = 2,49 \pm 0,02$ s**. Puis on ne garde jamais tous les chiffres de la calculatrice : écrire $2,49375 \pm 0,02$ n'aurait aucun sens.

Ainsi, l'**incertitude relative** $u(x) \div x$, souvent donnée en pourcentage, compare la précision de mesures de natures différentes : ici $0,02 \div 2,49 \approx 0,8\%$.

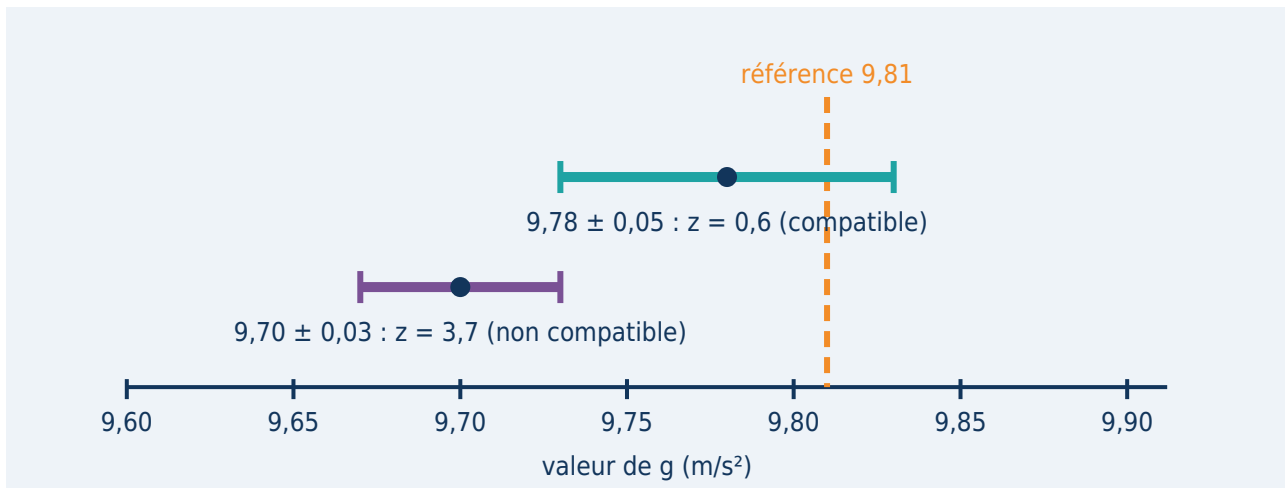
Comparer un résultat à une valeur de référence

Par ailleurs, on veut souvent vérifier si une mesure est en accord avec une valeur attendue $x_{\text{réf}}$ (valeur tabulée, indication du fabricant). De plus, on calcule l'**écart normalisé** :

FORMULE À RETENIR

$$z = |x - x_{\text{réf}}| \div u(x)$$

De plus, le résultat est dit **compatible** avec la référence si $z \leq 2$; sinon, il ne l'est pas.



Un résultat est compatible avec la référence quand celle-ci tombe dans un intervalle de largeur environ $\pm 2u$ autour de la valeur mesurée.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Mesure de g : $9,78 \pm 0,05 \text{ m/s}^2$, référence $9,81 \text{ m/s}^2$. $z = |9,78 - 9,81| \div 0,05 = 0,03 \div 0,05 = \mathbf{0,6}$: le résultat est compatible. Avec $9,70 \pm 0,03 \text{ m/s}^2$: $z = 0,11 \div 0,03 \approx \mathbf{3,7}$: il ne l'est pas, il faut chercher une cause systématique (erreur de protocole, appareil déréglé).

Donc, pour comparer **deux résultats** $x_1 \pm u_1$ et $x_2 \pm u_2$ de la même grandeur, on utilise $z = |x_1 - x_2| \div \sqrt{(u_1^2 + u_2^2)}$, avec le même critère $z \leq 2$.

ERREUR FRÉQUENTE

Précision et justesse sont deux choses différentes : un résultat peut avoir une très petite incertitude (mesures très groupées) et pourtant s'écarter de la valeur de référence à cause d'une erreur systématique. Autre confusion : l'incertitude n'est pas une « erreur » que l'on corrige, c'est la mesure de notre doute.

L'essentiel à retenir

- Toute mesure est entachée d'une variabilité ; on donne une estimation et son incertitude.
- Série de n mesures : moyenne $\bar{x}$, écart-type s , incertitude-type $u = s \div \sqrt{n}$.
- Une seule lecture : $u = g \div \sqrt{12}$, où g est la graduation.
- u est arrondie par excès à un chiffre significatif, la valeur au même rang décimal : $x = \bar{x} \pm u$ (unité).
- Comparaison à une référence : $z = |x - x_{\text{réf}}| \div u$; compatible si $z \leq 2$.
- Les calculs gardent le nombre de chiffres significatifs de la donnée la moins précise.

Tout le chapitre « Mesures, incertitudes et chiffres significatifs » en seconde

- Les exercices : Mesures, incertitudes et chiffres significatifs
- Le corrigé des exercices : Mesures, incertitudes et chiffres significatifs
- Le TP : Mesures, incertitudes et chiffres significatifs
- Le corrigé du TP : Mesures, incertitudes et chiffres significatifs
- Le QCM : Mesures, incertitudes et chiffres significatifs

Chapitre précédent : Signaux électriques et loi d'Ohm (cours)

Chapitre suivant : Énergie de changement d'état (cours)

Retrouve aussi tous les cours de sciences physiques en seconde et le programme complet de sciences physiques en seconde.