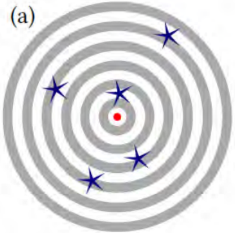
Présentation d'un résultat en physique expérimentale

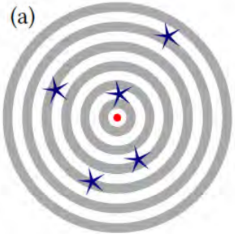
D. Micard
diane.micard@ac-paris.fr

30 août 2022

Contents


(a)


(b)



valeur vraie

valeur mesurée

L'objectif de la physique est d'évaluer la valeur vraie à partir d'une ou plusieurs valeurs mesurées.

Le résultat d'une mesure se présente donc sous la forme :

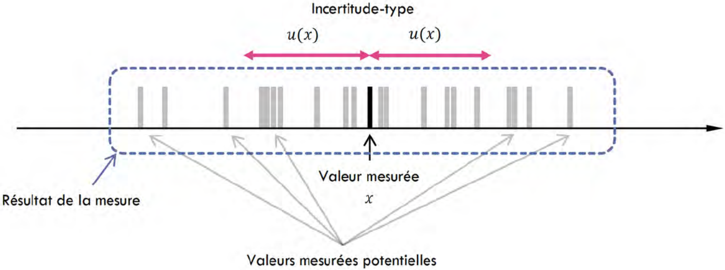
$$x \pm \Delta x$$

- x est le résultat de la mesure
- Δx est l'incertitude sur la mesure

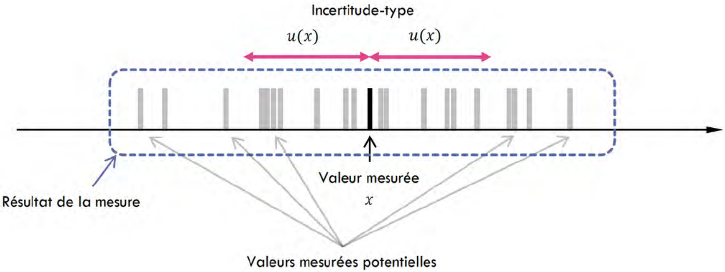
La valeur vraie se situe avec une forte probabilité dans l'intervalle $[x - \Delta x; x + \Delta x]$

Contents

Incertitude et écart-type



Incertitude et écart-type



En physique, l'incertitude Δx est une évaluation de l'écart-type qu'aurait la distribution des mesures si on en faisait plusieurs.

Rappel

Écart-type

Moyenne quadratique des écarts à la moyenne

Pour N mesures, et $\bar{x}$ la moyenne de toutes ces mesures :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}$$

c'est la racine carrée de la variance !

L'incertitude absolue Δx est l'erreur maximale que l'on est susceptible de commettre dans l'évaluation de x ; $\rightarrow$ mêmes unités de la grandeur mesurée.

L'incertitude absolue Δx est l'erreur maximale que l'on est susceptible de commettre dans l'évaluation de x ; $\rightarrow$ mêmes unités de la grandeur mesurée.
L'incertitude relative $\frac{\Delta x}{x}$ représente l'importance de l'erreur par rapport à la grandeur mesurée. pas d'unités elle s'exprime en général en % ($100\Delta x/x$).

L'incertitude absolue Δx est l'erreur maximale que l'on est susceptible de commettre dans l'évaluation de x ; $\rightarrow$ mêmes unités de la grandeur mesurée.
L'incertitude relative $\frac{\Delta x}{x}$ représente l'importance de l'erreur par rapport à la grandeur mesurée. pas d'unités elle s'exprime en général en % $(100\Delta x/x)$.

Les physiciens américains Dumond et Cohen ont proposé au début des années 1950 plusieurs valeurs expérimentales pour la vitesse de la lumière. En 1953, ils proposent $c = (299792,9 \pm 0,8)$ km/s

L'incertitude absolue Δx est l'erreur maximale que l'on est susceptible de commettre dans l'évaluation de x ; $\rightarrow$ mêmes unités de la grandeur mesurée.
L'incertitude relative $\frac{\Delta x}{x}$ représente l'importance de l'erreur par rapport à la grandeur mesurée. pas d'unités elle s'exprime en général en % ($100\Delta x/x$).

La mesure de la vitesse de la lumière exprimée par $c = (299792,9 \pm 0,8)$ km/s correspond à une incertitude relative $\Delta c/c = 3.10^{-6} = 0,0003\%$

Contents

La difficulté principale pour le calcul de l'incertitude-type est de comprendre sur quoi cette incertitude porte.

Type A

on chercher à caractériser la distribution de probabilité des valeurs de x, Évaluation de l'écart-type de la série de mesures par répétition d'expériences.

Type B

on cherche à estimer la précision des appareils de mesure et des conditions expérimentales.

Une incertitude de type A est évaluée par des méthodes statistiques qui mettent en jeu la moyenne et l'écart-type. Elle est issue de l'exploitation d'un nombre **important** de valeurs mesurées.
Le résultat donné est la moyenne des mesures et l'incertitude sur cette moyenne est :

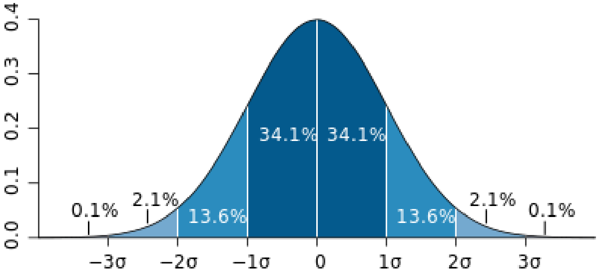
$$u(\bar{x}) = \frac{\sigma_N}{\sqrt{N}}$$

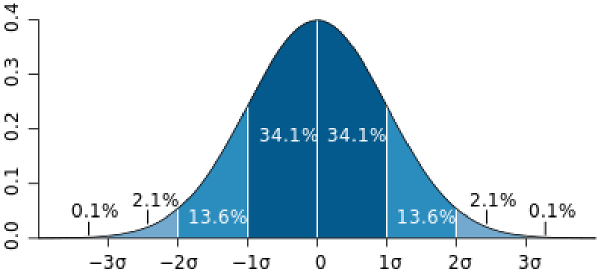
où σ_N est l'écart-type de N mesures.
Attention : l'incertitude sur 1 seule mesure est directement $\Delta x_A = \sigma_N$

L'utilisation de cette évaluation, relève de l'hypothèse qu'une erreur aléatoire suit une loi de distribution gaussienne ou normale, c'est à dire que la probabilité d'obtenir la mesure x s'écrit :

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\,\mathrm{e}^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\overline{x}}{\sigma}\right)^2}.$$

Ceci est vérifié lorsque $\sigma_n \xrightarrow{n\to+\infty} \sigma$.





Dans la pratique, nombre limité de mesurages → utilisation d'un facteur k appelé facteur d'élargissement.

$$\Delta x_A = k\sigma_n$$

Ainsi pour $k = 2$ la probabilité de mesurer la grandeur dans un intervalle autour de la moyenne de 2σ est de 95%. Cet intervalle est appelé **intervalle de confiance**. Pour $k = 1$ le niveau de

Mesure unique.

Il faut évaluer toutes les sources d'erreurs. Pour les incertitudes de type B, on considère que l'incertitude de mesure à prendre en compte est l'incertitude élargie $\Delta x_B = 2u$, pour un niveau de confiance de 95% avec u l'incertitude de l'instrument.

De façon générale :

- Lecture sur une échelle graduée : $u = \frac{graduation}{\sqrt{3}}$
- Appareil numérique (voir notices des appareils)

Propagation log

Si l'on multiplie (ou divise) deux termes dont on connaît l'incertitude $a = b \times c^{\gamma}$, alors l'incertitude du résultat se calcul grâce à la formule :

$$\frac{\Delta a}{|a|} = \frac{\Delta b}{|b|} + |\gamma| \frac{\Delta c}{|c|} \tag{1}$$

Le rapport $\frac{\Delta a}{|a|}$ est appelé incertitude relative.

propagation quadratique

On utilise aussi la formule de Propagation des erreurs quadratique :
si $a = \prod_i y_i$ alors

$$\frac{\Delta a}{|a|} = \sqrt{\sum_i (\frac{\Delta y_i}{y_i})^2}$$

Chiffres significatifs

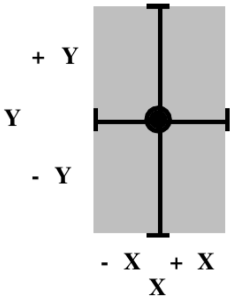
Le nombre de chiffres significatifs indique la précision d'une mesure physique. Il s'agit des chiffres connus avec certitude ou compris dans un intervalle d'incertitude. La précision (ou l'incertitude) avec laquelle on connaît la valeur d'une grandeur dépend du mesurage (ensemble d'opérations ayant pour but de déterminer la valeur d'une grandeur).

Exemple : 12,43 possède 4 chiffres significatifs et signifie 12,43$\pm$ 0,01

0.0520 possède lui 3 chiffres significatifs et peut s'écrire $5,20 \times 10^{-2}$ ou encore $52,0 \times 10^{-3}$.

Soit un point expérimental défini par les coordonnées :

- x est affecté de l'incertitude $\pm\Delta x$ (X sur la figure)
- y est affecté de l'incertitude $\pm\Delta y$ (Y sur la figure)



Présentation d'un graphique

Pour étudier une cinétique chimique dans un réacteur, la concentration d'une espèce est suivie par prélèvements réguliers en fonction du temps. Le dosage aboutit à une mesure de la densité optique (absorbance) de la solution. Compte tenu de toutes les contraintes expérimentales, les valeurs mesurées sont entachées des incertitudes suivantes:

Temps = t (seconde)	60 ± 3	120 ± 3	180 ± 3	240 ± 3
Concentration =C (mol/l)	1,12 ± 0,03	1,03 ± 0,03	0,98 ± 0,02	0,88 ± 0,02

Ce qui donne le graphique: