

Mesures et incertitudes – Fiche 1 : Notion d'erreurs

En sciences expérimentales, il n'existe pas de mesures exactes : celles-ci sont toujours entachées d'erreurs plus ou moins importantes selon le protocole, la qualité des instruments de mesure ou le rôle de l'opérateur. Évaluer l'incertitude sur une mesure est souvent un processus complexe, mais il s'agit d'une étape essentielle dans la détermination de la valeur mesurée.

Mesurer une grandeur, c'est rechercher une valeur de cette grandeur et lui associer une incertitude afin d'évaluer la qualité de la mesure.

Voici le vocabulaire utilisée par les spécialistes de la métrologie (branche de la physique concernant la science des mesures et ses applications) :

Définitions :

- la grandeur à mesurer est appelée le **mesurande**
- on appelle **mesurage** (mesure) l'ensemble des opérations permettant de déterminer expérimentalement une ou plusieurs valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur (on notera ***m*** le résultat d'un mesurage)
- la **valeur vraie** (M_{vrai}) du mesurande est la valeur que l'on obtiendrait si le mesurage était parfait. Un mesurage n'étant jamais parfait, cette valeur est toujours inconnue.
- L'**erreur de mesure** (***E***) est l'écart entre la valeur mesurée et la valeur vraie. Par définition cette erreur est inconnue puisque la valeur vraie est inconnue.

$$E = m - M_{\text{vrai}}$$

Mais, il faut dans un premier temps être capable **d'identifier les sources d'erreurs** avant de pouvoir évaluer l'incertitude qu'elles confèrent à la mesure.

On envisage traditionnellement qu'une erreur possède deux composantes : une aléatoire et une systématique.

1. Les erreurs de mesure systématiques

Les erreurs systématiques ont une valeur définie identique à chaque fois que l'on mesure la même grandeur, dans les mêmes conditions. Elles ont une origine bien précise (mais cette origine n'est pas toujours évidente à identifier).

Il existe de nombreuses sources d'erreurs systématiques :

- **Les erreurs instrumentales** : par exemple, une pipette peut délivrer un volume légèrement différent de ce qu'indique sa contenance si son utilisation est faite à une température très différente de la température d'étalonnage fait par l'industriel. De même les appareils de mesures sont sujets à des erreurs systématiques : un étalonnage préalable permet parfois de s'en affranchir.
- **Les erreurs dues à la méthode** : ces erreurs sont plus difficiles à détecter et à corriger car elles dépendent du système étudié (qu'il soit chimique, physique, biologique etc.) et des hypothèses faites dans le choix de la méthode.
- **Les erreurs personnelles** : dues au manque de soin de l'expérimentateur

L'erreur systématique peut être considérée comme une erreur « constante » qui affecte chacune des mesures. Cette erreur ne peut être réduite qu'en appliquant une correction. Mais en général, c'est une opération difficile car elle nécessite une connaissance approfondie du processus de mesure afin d'identifier au mieux les causes d'erreurs et d'estimer les corrections à apporter.

Exemple :

Pour éviter une erreur systématique due à l'absorption de la cuve et du solvant lors d'une mesure de spectrophotométrie on effectue « un blanc » : on mesure l'absorbance de la cuve remplie de solvant pour chaque longueur d'onde et l'appareil soustrait à la mesure de l'absorbance de l'échantillon celle du blanc.

Il est très difficile de s'affranchir des erreurs systématiques, mais vous devez être capable de les identifier lorsque c'est possible.

2. Les erreurs de mesure aléatoires

La valeur d'une grandeur expérimentale dépend toujours de nombreux facteurs que nous ne pouvons pas contrôler : ces facteurs sont appelés **grandeurs d'influences**. Ces grandeurs d'influence évoluent de manière aléatoire, ainsi si nous effectuons plusieurs fois la mesure du mesurande nous n'obtiendront pas forcément la même valeur.

Exemple :

Imaginons que l'on réalise au cours d'une journée un très grand nombre de mesures de l'absorbance d'une solution de sirop de menthe à la longueur d'onde de 650 nm. Le

travail est effectué en changeant systématiquement la cellule de mesure (toutes issues d'un même lot de même précision) en changeant régulièrement de spectrophotomètre (tous de même qualité). Diverses raisons font que les mesures A_i ne seront pas toutes identiques :

- Les cellules de mesure n'ont pas toutes exactement la même longueur
- Les spectrophotomètres ne sont pas tous exactement à la même longueur d'onde
- Les photodétecteurs des spectrophotomètres n'ont pas tous vieillis identiquement
- L'intensité électrique n'est pas rigoureusement la même tout au long de la journée, modifiant ainsi le résultat fourni par le photodétecteur
- La température de la pièce évolue dans la journée, etc...

Toutes ces causes constituent des aléas que l'expérimentateur essaye de maîtriser le mieux possible, mais qu'il ne peut pas fixer rigoureusement.

De la même manière lorsqu'on utilise un système de mesure gradué il y a toujours une incertitude sur la gradation, incertitude du à la résolution du système de mesure mais aussi à l'appréciation de l'observateur.

3. Fidélité et justesse

Si l'on répète l'opération de mesure un grand nombre de fois (n fois) dans les mêmes conditions (conditions de répétabilité) :

- Le meilleur estimateur de la valeur vraie est la valeur moyenne des n mesures, noté : \bar{m}
- L'erreur aléatoire pour chaque mesure notée m_i vaut : $E_a = m_i - M_{\text{vrai}}$, or M_{vrai} est inconnue donc la meilleure estimation de l'erreur aléatoire vaut :

$$E_a = m_i - \bar{m}$$

Un instrument de mesure est dit **fidèle** s'il donne des valeurs très voisines lors de mesures répétées.

- L'erreur systématique est la différence entre ce que l'on pense être le meilleur estimateur de la valeur vraie et la valeur vraie :

$$E_s = \bar{m} - M_{\text{vrai}}$$

Un instrument de mesure est dit **juste** s'il donne des valeurs exemptes d'erreur systématique.

On peut illustrer ces notions d'erreurs systématiques et aléatoires par le tir dans une cible :

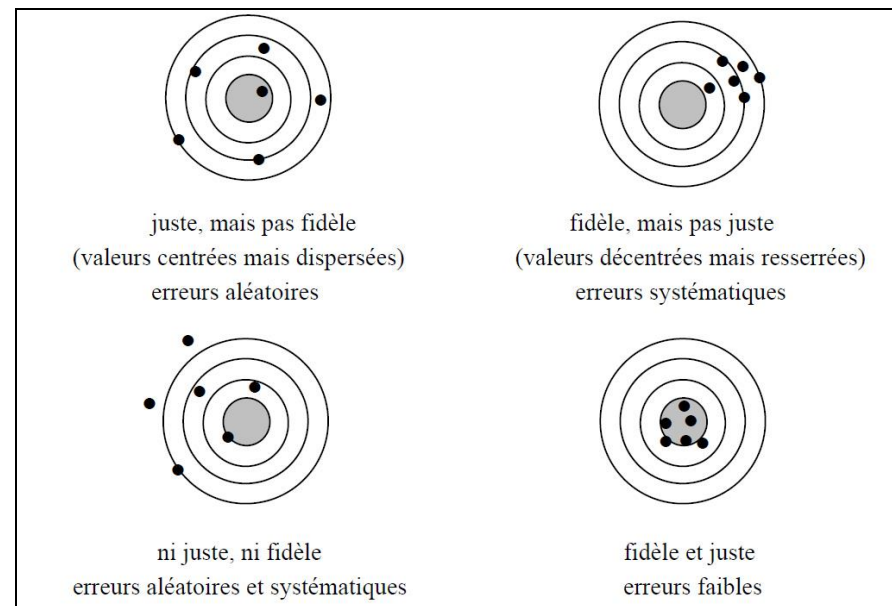


Figure 1 : Modélisation par le tir dans une cible

Il est souvent difficile d'obtenir un protocole sans erreur systématique, de même il est souvent difficile d'effectuer une correction, car il faudrait pour cela connaître la valeur vraie, mais c'est justement celle que l'on recherche en effectuant la mesure.... Il faut lorsque c'est possible, en conclusion, s'assurer que le résultat est compatible avec une valeur de référence.

En revanche les erreurs aléatoires sont toujours présentes mais vérifient des lois statistiques. Il sera donc possible de les estimer et de les inclure dans la présentation du résultat (cf. fiches suivantes).