

Mesures et incertitudes : fiche pour le professeur

Valeur de référence

Comparer un résultat de mesure à une valeur de référence

Pourquoi comparer un résultat de mesure à une valeur de référence ?

La comparaison entre une valeur de référence et un résultat de mesure permet de valider ce dernier. Autrement dit, cela peut conforter le choix :

- de l'instrument de mesure ou de la méthode de mesure utilisée (par exemple on peut être amené à choisir une méthode de titrage) ;
- d'un modèle physique proposé (par exemple lorsque l'on demande aux élèves de proposer un modèle reliant l'angle d'incidence et l'angle de réfraction).

L'intérêt d'estimer une incertitude de mesure n'est donc pas seulement d'écrire un résultat de mesure. Discuter de la validité d'un résultat de mesure c'est permettre aux élèves de développer leur esprit critique.

L'enjeu est de convaincre les élèves que si l'écart entre le résultat de mesure et la valeur de référence est grand devant l'incertitude-type, cela est dû à un modèle erroné ou à une cause d'erreur oubliée (de nature systématique ou aléatoire).

Comment comparer un résultat de mesure à une valeur de référence ?

■ Qu'est-ce qu'une valeur de référence ?

Une valeur de référence est supposée avoir une incertitude faible devant celle du résultat de mesure auquel on la compare. Une valeur de référence peut donc être :

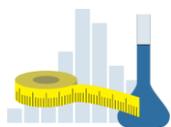
- une constante fondamentale ;
Exemple : la célérité de la lumière dans le vide.
- une valeur dérivée d'un modèle ;
Exemple : la célérité du son dans l'air dépendant de la température ;
- une valeur mesurée par un dispositif dont l'incertitude est faible devant celle du processus de mesure utilisé par l'élève ;
Exemple : la concentration d'une solution titrée si elle a été soigneusement préparée par un agent de laboratoire supposé beaucoup plus expérimenté et fiable que nos élèves.

■ Qu'est-ce qui n'est pas une valeur de référence ?

Si l'on dispose de la valeur « nominale » d'un produit commercial, il faut être prudent. Il faut avoir un ordre de grandeur de la tolérance du fabricant et la comparer à l'incertitude des valeurs mesurées par les élèves avant de la qualifier de « référence ».

Par exemple la distance focale d'une lentille mince bas de gamme est généralement donnée à 10 ou 15% : si un élève emploie une méthode focométrique et obtient un résultat de mesure éloigné de la valeur attendue, cela peut très bien signifier que la lentille n'a pas la focale indiquée. Dit autrement c'est l'élève qui « a raison ». « Vérifier la valeur du fabricant » n'a pas non plus beaucoup de sens puisque le fabricant reconnaît lui-même que la valeur affichée est grossière. La seule vérification qui aurait du sens consisterait donc à vérifier que les écarts n'excèdent pas 10 ou 15% : cela se pratique en métrologie mais ce qui n'est pas une démarche préconisée dans les programmes de lycée.

Le fait d'être une référence ou non peut aussi avoir un caractère relatif, selon le protocole conduisant au résultat de mesure.



Exemple : une solution d'acide fort de concentration c donnée a été préparée à la hâte en petite quantité. Deux protocoles sont envisagés pour mesurer sa concentration :

- protocole 1 : mesure du pH et calcul de $10^{-\text{pH}}$;
- protocole 2 : titrage pH-métrique par une solution de soude.

Le protocole 1 donnera une valeur avec une incertitude élevée. La concentration c peut être considérée comme une référence.

Le protocole 2, en revanche, donne une valeur avec incertitude plus faible ou du même ordre que la valeur c : celle-ci n'est donc pas une référence.

Il faut donc choisir rigoureusement la situation pour laquelle la valeur de référence en est vraiment une.

■ Comment comparer une valeur de référence à un résultat de mesure ?

La compatibilité de deux valeurs mesurées, compte-tenu de leurs incertitudes, peut être évaluée à l'aide d'un nombre appelé z-score (ou score z en français), défini par :

$$z = \frac{|x_{\text{mes1}} - x_{\text{mes2}}|}{\sqrt{u(x_{\text{mes1}})^2 + u(x_{\text{mes2}})^2}}$$

Si l'une des deux valeurs est une valeur de référence, son incertitude-type est négligeable devant l'autre valeur et il reste :

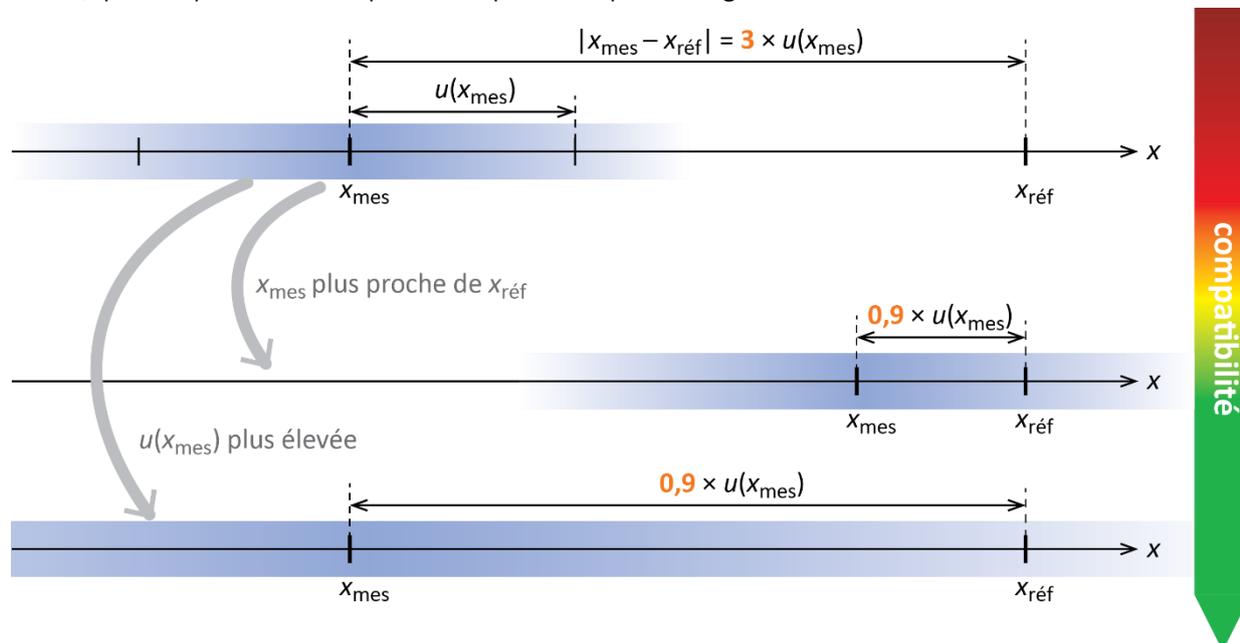
$$z = \frac{|x_{\text{mes}} - x_{\text{ref}}|}{u(x)}$$

Le calcul de z permet donc d'estimer la compatibilité du résultat de mesure, **compte-tenu de son incertitude**, avec une valeur de référence : plus il est faible, plus la compatibilité est avérée.

Que fait-on avec les élèves ?

Le programme de la série STL invite à « discuter de la validité d'un résultat en comparant la différence entre le résultat d'une mesure et la valeur de référence d'une part et l'incertitude-type d'autre part. »

L'évaluation du z-score est préconisée en série générale mais pas en série STL. C'est une comparaison qui est attendue, que l'on peut schématiquement représenter par ce diagramme :



Une solution peut-être de demander aux élèves de formuler une phrase du type « l'écart entre le résultat de mesure et la valeur de référence vaut 3 incertitudes-types » (cas plutôt défavorable).

Aucun seuil n'est préconisé mais, pour faciliter l'écriture d'une conclusion, on peut fixer à 2 le seuil de compatibilité (il correspond à un niveau de confiance de 95%, ce que l'on ne dit pas aux élèves).