

Mesures et incertitudes : fiche pour le professeur

Mesures réalisées par plusieurs élèves

Peut-on exploiter une série de mesures réalisées par des élèves différents ?

Position du problème

Les contraintes de temps auxquelles nous sommes soumis rendent souvent difficile l'organisation de séances où les élèves répètent une mesure, surtout si celle-ci est complexe comme l'est par exemple un titrage. Nous sommes donc amenés à leur faire appliquer une fois le protocole et, en fin de séance, à rassembler leurs résultats pour les exploiter avec les outils statistiques usuels (moyenne, écart-type). Peut-on faire cela ? Cela a-t-il un sens ?

Nous verrons qu'une telle démarche ne correspond rigoureusement ni aux pratiques de l'industrie ni des laboratoires. Pour autant, au lycée, dans une démarche d'apprentissage, il ne faut pas s'en priver mais avoir conscience que l'on estime alors *une autre* incertitude. Cela questionne **les erreurs auxquelles on donne l'opportunité de varier** et demande d'approfondir ce point, trop rapidement évacué dans la fiche précédente consacrée à l'estimation de type A des incertitudes-types.

Retour sur l'estimation de type A : donner aux erreurs l'opportunité de varier

La fiche précédente indique que, pour estimer une incertitude-type par une méthode de type A, il faut donner aux sources d'erreur l'opportunité de varier entre chaque mesure. Illustrons cette notion à partir de trois exemples.

■ Exemple 1 : mesure de la largeur d'une feuille A4 au double décimètre

Si l'on demande à un élève de répéter n fois une telle mesure, il obtiendra n fois la même valeur et calculera donc un écart-type nul : est-ce à dire que l'incertitude-type de la distance mesurée est nulle ? Non, évidemment. La raison est que, parmi toutes les sources d'erreur qui affectent sa mesure, **aucune ne varie d'un essai à l'autre**. Par exemple :

- si l'élève ne sait pas positionner le zéro de sa règle cela affectera identiquement toutes ses mesures ;
- idem si la règle est mal graduée.

■ Exemple 2 : mesure d'une distance focale par autocollimation

Les sources d'erreur sont, entre autres :

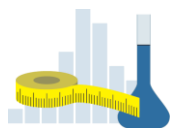
- la résolution des graduations du banc d'optique (source d'erreur de poids très faible en optique) ;
- le repérage de la position de la lentille et de celle de l'objet (en général une lanterne dont la sortie n'est pas à la verticale du curseur présent sur son support) ;
- et surtout : l'ajustage de la distance lentille-écran, la netteté étant un critère subjectif (et le stigmatisme et l'aplanétisme étant des conditions qui ne peuvent être qu'approchées).

Imaginons qu'un élève répète n fois la mesure par autocollimation mais laisse sa lanterne toujours à la même position sur le banc d'optique : alors cette source d'erreur-là, bien que non-négligeable, n'aura pas l'opportunité de varier : il faut donc ôter TOUS les accessoires du banc avant chaque mesure.

■ Exemple 3 : le titrage, un cas où l'on ne peut pas faire varier toutes les sources d'erreur

Parmi les innombrables sources d'erreur qui affectent une mesure de concentration par titrage figure la concentration de la solution titrante ; le plus souvent celle-ci est préparée par le laboratoire et est identique à chaque essai. Il semble impossible de demander aux élèves de préparer n fois une solution titrante, donc :

- soit on considère que la concentration de la solution titrante est une source d'erreur négligeable, ce qui peut être réaliste si le laboratoire a pris les précautions nécessaires ;
- soit on assume que l'estimation de l'incertitude-type de la valeur mesurée par titrage ne tient pas compte de cette source d'erreur-là.



La question : tenir compte de l'effet « élève » ou de l'effet « inter-élève » ?

Rappelons ce que le VIM définit comme étant les conditions de **répétabilité** :

Condition de mesure dans un ensemble de conditions qui comprennent la même procédure de mesure, les mêmes opérateurs, le même système de mesure, les mêmes conditions de fonctionnement et le même lieu, ainsi que des mesures répétées sur le même objet ou des objets similaires pendant une courte période de temps.

Et introduisons ce que le VIM définit comme étant les conditions de **reproductibilité** :

Condition de mesure dans un ensemble de conditions qui comprennent des lieux, des opérateurs et des systèmes de mesure différents, ainsi que des mesures répétées sur le même objet ou des objets similaires.

■ Une situation parfois (mais trop rarement) envisageable au lycée : UN SEUL élève réalise une série de mesures

Lorsqu'un même élève réalise une série de mesure en suivant une méthode donnée, on peut considérer que les conditions de répétabilité sont satisfaites ; les erreurs qui ont l'opportunité de varier sont alors associées :

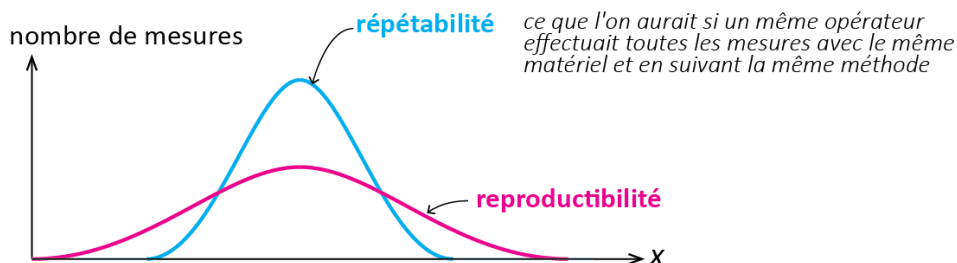
- au matériel ;
- à la méthode ;
- à l'opérateur (autrement dit à l'élève lui-même qui, surtout s'il débute, peut être la source d'erreur prépondérante).

Alors :

- ▶ L'écart-type s de l'échantillon estime l'incertitude-type d'une mesure **réalisée par cet élève-là**, avec ce matériel et selon cette méthode.
- ▶ s/\sqrt{n} estime l'incertitude-type de la moyenne des valeurs de cet échantillon.

■ Une situation impossible à mettre en œuvre au lycée : le test inter-laboratoire

Un test inter-laboratoire exige que plusieurs laboratoires fassent répéter un même protocole de mesure à ses opérateurs. Les outils statistiques permettent de dissocier la part de la dispersion des valeurs due à la répétabilité et celle qui est due aux changements de laboratoires.



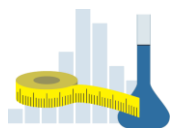
Le but est d'évaluer **la reproductibilité** d'une méthode de mesure et l'aptitude de chaque laboratoire à l'appliquer.

■ Ce qui est souvent la seule possibilité au lycée : chaque élève réalise une mesure et on rassemble les résultats

Dans ce cas l'erreur liée à un élève n'a plus l'opportunité de varier puisque chacun ne fait qu'une seule mesure. En revanche on donne l'opportunité de varier à une autre erreur : celle qui est liée au changement d'élève, ce que les métrologues appellent « l'effet inter-opérateur ». Les erreurs ayant l'opportunité de varier sont donc liées :

- au type de matériel (en admettant que tous les élèves manipulent des instruments de même catégorie) ;
- à la méthode ;
- à l'effet inter-opérateur (autrement dit au changement d'élève).

Une telle démarche n'a aucun équivalent dans le monde professionnel : il ne s'agit ni d'un test de répétabilité (puisque plusieurs opérateurs sont impliqués) ni d'un test inter-laboratoire (chaque opérateur ne réalisant



qu'une seule mesure, avec du matériel identique à ses homologues et l'analyse de variance que cela nécessiterait étant hors de portée d'élèves de lycée).

C'est en quelque sorte une démarche hybride qui donne l'opportunité de varier à certaines des erreurs liées à la répétabilité et à certaines autres liées à la reproductibilité.

En ayant conscience de cela, il ne faut pas se priver d'une telle démarche : il s'agit souvent de la seule solution à notre disposition pour initier nos élèves à l'estimation de type A.

Ce que l'on peut dire aux élèves :

- ▶ Si chaque élève exploite une série de mesures qu'il a lui-même réalisées, son écart-type estime l'incertitude-type d'une mesure réalisée avec ce protocole, ce matériel **et par lui-même**.
- ▶ Si chaque élève ne réalise qu'une mesure et exploite l'ensemble des résultats de sa classe, l'écart-type estime l'incertitude-type d'une mesure réalisée **par n'importe quel élève de la classe**, avec ce protocole et un matériel de même catégorie.