

## À propos des incertitudes expérimentales

par **Jean-Michel LAFFAILLE**

Lycée Henri Bergson - 49000 Angers

laffaille.j-m.edu@orange.fr

### RÉSUMÉ

*Quelques commentaires semblent nécessaires à propos d'un récent article sur la précision expérimentale associée à un modèle. Dans la majorité des cas rencontrés, il faut éviter de confondre les fluctuations des points mesurés au voisinage d'un modèle avec les incertitudes sur ces mesures ou avec les écarts entre mesures et modèle.*

L'article « De la relativité de l'incertitude relative [...] de l'énergie mécanique » [1] met en évidence des propriétés intéressantes de fluctuations des valeurs mesurées ; il compare en particulier les avantages et inconvénients des raisonnements utilisant respectivement les écarts absolus et les écarts relatifs. En fait, les difficultés ainsi mises en évidence proviennent de la confusion entre les incertitudes, les fluctuations des mesures et les écarts entre mesures et modèle. Même sans chercher à atteindre une description totalement rigoureuse (pour ne pas trop compliquer), on peut nettement améliorer les raisonnements trop approximatifs.

Supposons qu'on veuille tester la conservation de l'énergie mécanique, on est conduit à calculer (d'après des mesures) l'énergie cinétique ( $E_c$ ) et l'énergie potentielle ( $E_p$ ). Si on déduit  $E_c$  d'une mesure de positions successives d'un mobile, il faut commencer par estimer la précision de mesure des distances et des durées (d'après la précision des instruments de mesure utilisés, souvent indiquée par le fabricant). On « propage » ensuite ces incertitudes pour en déduire les incertitudes sur les valeurs de la vitesse, puis sur celles de  $E_c$ . On procède ensuite de même pour calculer les incertitudes sur  $E_p$  à partir de celles concernant les mesures des grandeurs utilisées pour connaître  $E_p$  (selon le dispositif expérimental utilisé). On en déduit enfin les incertitudes ( $\Delta E_m$ ) sur les valeurs de l'énergie mécanique ( $E_m$ ).

Il est important ici de comprendre qu'on peut calculer ainsi l'incertitude sur chaque point mesuré, de façon indépendante de tout début d'utilisation du modèle qu'on cherche à tester (ici, le fait que l'énergie mécanique soit une constante). Certes, quand le modèle est correct et que les incertitudes sont essentiellement « aléatoires » (sans effet « systématique » qui perturberait tous les points de façon semblable), alors les écarts (fluctuants) des valeurs mesurées par rapport au modèle sont du même ordre de grandeur que les incertitudes sur les mesures. Mais pour estimer ces fluctuations et s'en servir pour tester

des modèles, il faut déjà disposer d'un modèle correct par rapport auquel on considère les fluctuations : cela ne peut ensuite servir que pour éliminer d'autres modèles après en avoir trouvé un correct. Pour prouver qu'un modèle est correct, il faut calculer les incertitudes indépendamment de ces fluctuations.

Si le modèle dépendait en outre de paramètres expérimentaux (ce n'est pas le cas pour l'exemple envisagé dans l'article commenté ici), il faudrait en plus propager les incertitudes des paramètres sur chaque valeur du modèle qu'on veut comparer à une valeur expérimentale.

Outre la nécessité pour le raisonnement correct, un (énorme) avantage de calculer indépendamment les incertitudes de mesure est qu'on peut en tenir compte dans le test des modèles en raisonnant avec les écarts relatifs : on considère non pas les écarts entre modèle et mesures, mais les rapports entre ces écarts et les incertitudes. En effet, il est très fréquent que, dans une série de mesures, toutes les valeurs obtenues n'aient pas la même précision ; il en est de même pour les valeurs calculées par les modèles dépendant de paramètres expérimentaux. Ainsi, on peut tolérer que des points peu précis s'écartent du modèle, mais exiger que ce dernier décrive précisément les mesures dont l'incertitude est faible.

On peut alors comparer les mesures au modèle : le modèle est acceptable si l'écart « moyen » (cela mériterait des approfondissements, mais ce n'est pas le sujet principal ici) entre les points mesurés et modélisés est inférieur à « la somme » des incertitudes sur les mesures et le modèle. Pour ne pas trop compliquer, on peut considérer :

$$\left\langle \frac{|(E_m)_{\text{exp}} - (E_m)_{\text{mod}}|}{(\Delta E_m)_{\text{exp}} + (\Delta E_m)_{\text{mod}}} \right\rangle \text{ ou mieux : } \left\langle \frac{((E_m)_{\text{exp}} - (E_m)_{\text{mod}})^2}{(\Delta E_m)_{\text{exp}}^2 + (\Delta E_m)_{\text{mod}}^2} \right\rangle ;$$

c'est-à-dire qu'il faut comparer l'écart aux incertitudes, qu'il faut donc calculer indépendamment.

Enfin, la précision du modèle est indiquée par les incertitudes et non les écarts, qui sont inférieurs si le modèle est correct. Des points expérimentaux peuvent être assez imprécis (avec de grandes incertitudes) tout en étant « par hasard » assez proches d'un modèle (faibles écarts) ; cela ne rend pas le modèle précis puisque de nombreux autres modèles seraient probablement autant compatibles avec les mesures peu précises...

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] LE RILLE A. « De la relativité de l'incertitude relative sur les grandeurs relatives ou comment vérifier expérimentalement la conservation de l'énergie mécanique ». *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, février 2006, vol. 100, n° 881, p. 229-233.



**Jean-Michel LAFFAILLE**  
*Professeur de sciences physiques en MPSI*  
 Lycée Henri Bergson  
 Angers (Maine-et-Loire)