

Pourquoi les étudiants calculent-ils des incertitudes dans un TP de physique de L1 ?

Caussarieu, Aude⁽¹⁾, Tiberghien, Andrée⁽²⁾

⁽¹⁾Laboratoire de Physique, Institut des systèmes complexes, ENS de Lyon - France

⁽²⁾Laboratoire ICAR, ENS de Lyon - France

Résumé

Dans cette communication nous proposons une étude de cas d'un enseignement de physique expérimentale en première année de licence. L'étude des fascicules de TP montre que les étudiants calculent les incertitudes sur tous leurs résultats de mesures, mais sur moins de la moitié de leurs résultats de calculs. Des entretiens avec trois enseignants montrent que ces derniers souhaitent que les étudiants calculent systématiquement les incertitudes de mesure sur tous leurs résultats pour qu'ils « soient convaincus » qu'une incertitude est associée à chaque valeur numérique d'une grandeur physique. L'écart entre la règle de calcul souhaitée par les enseignants et celle observée en pratique est liée à l'absence d'incertitude sur les valeurs des grandeurs physiques données dans l'énoncé de TP. Les enseignants sont focalisés sur l'incertitude associée à la mesure et ont donc négligé certains calculs d'incertitudes compliqués pour les étudiants. Ces résultats sont discutés par rapport à l'usage des incertitudes en physique où elles servent à conclure sur des comparaisons.

Mots clés : First-year University physics teaching; Measurement uncertainties; Laboratory course; Physics.
Enseignement supérieur ; Incertitudes de mesure ; Physique ; Travaux pratiques.

Pourquoi les étudiants calculent-ils des incertitudes dans un TP de physique de L1 ?

Introduction

La mesure en physique est un concept central pour comprendre l'articulation entre expériences et affirmations théoriques. Cependant, plusieurs études ont montré que malgré la réalisation de nombreuses mesures lors des travaux pratiques, les étudiants ont un faible niveau de maîtrise des concepts qui y sont associés (Séré et Journeaux, 1993 ; Allie et al, 1998). Par exemple, ils sont nombreux à croire qu'il est possible de connaître la valeur d'une grandeur physique avec une précision infinie. Ces dernières années, plusieurs groupes de chercheurs ont donc proposé des ingénieries didactiques pour l'université en proposant d'une part un enseignement explicite de la mesure et des incertitudes et d'autre part, en tenant compte des difficultés des étudiants (Buffler et al. 2008 ; Kung-Lippman, 2005).

Dans cette étude, nous souhaitons caractériser un enseignement ordinaire de physique expérimentale en L1 du point de vue de la pratique attendue des étudiants au sujet des incertitudes de mesure. Cette analyse est basée sur une analyse épistémologique du savoir associé à la mesure et est confrontée ensuite aux documents d'enseignement et aux objectifs pédagogiques des enseignants impliqués dans cet enseignement.

Analyse épistémologique de la mesure

Dans les sciences expérimentales, la comparaison des résultats expérimentaux et des prédictions théoriques est centrale dans la production et la validation des connaissances. Or la connaissance que l'on a d'une grandeur physique est limitée par différentes sources d'incertitudes. Ainsi les deux sources d'incertitude les plus fréquemment rencontrées sont la résolution finie de l'appareil de mesure ainsi que la variabilité des objets et des phénomènes physiques. De ce fait, on ne peut conclure sur la comparaison de deux valeurs de grandeurs physiques qu'à condition de connaître les incertitudes qui leurs sont associées. Du point de vue de la physique, l'estimation des incertitudes est nécessaire pour les situations où l'on doit comparer des valeurs numériques.

Ainsi, il est souvent nécessaire d'indiquer l'incertitude associée à la valeur numérique d'une grandeur physique en notant le résultat avec deux nombres comme dans l'exemple suivant : " $\tau = (0,25 \pm 0,5)s$ ". Le premier nombre se rapporte à la valeur de la quantité mesurée et le deuxième à son incertitude. Cette notation n'est cependant pas la seule que l'on peut trouver dans les écrits de recherche en physique. D'après les premiers résultats d'une étude que nous sommes en train de mener, les notations utilisées en physique peuvent être regroupées en trois catégories. (1) La notation *intervalle* qui utilise deux nombres comme dans " $\tau = (0,25 \pm 0,5)s$ " ou $G = 6,67234(14) \times 10^{-11} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$. (2) La notation *point* dans laquelle le résultat est donné avec un seul nombre sans référence explicite à l'incertitude comme dans $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$. Et(3) la notation *approchée* dans laquelle le nombre est précédé d'un symbole (\sim ou \approx) ou d'un adjectif (« à peu près », « environ ») comme dans " $\tau \sim 0,3 \text{ s}$ ". La notation *intervalle* est évidemment la plus précise mais le physicien tient aussi compte de l'incertitude dans les autres notations pour choisir le nombre de chiffres significatifs.

Questions de recherche

Ainsi, dans cette communication, nous cherchons à répondre aux questions suivantes en nous basant sur une étude de cas de pratiques ordinaires d'enseignants de L1.

1) Lors des travaux pratiques, dans quelles situations demande-t-on aux étudiants de calculer les incertitudes sur leurs résultats ? 2) Quels sont les objectifs des enseignants du point de vue de l'enseignement de la mesure ?

Les éléments de réponse à ses questions permettront de discuter l'adéquation entre la pratique et les objectifs des enseignants au regard de l'enseignement de la mesure et des incertitudes.

Contexte

Pour cette étude de cas nous avons choisi une unité d'enseignement de physique (UE) de L1 pour des étudiants du portail SVT. 500 étudiants suivent cet enseignement aux semestres d'automne et de printemps et une trentaine d'enseignants intervient dont de nombreux moniteurs. En plus des cours magistraux et des séances de travaux dirigés, les étudiants prennent part à 6 séances de travaux pratiques (TP) de deux heures : trois d'optique et trois d'électricité. Les travaux pratiques ont été rénovés en 2010.

Données et méthodologie

Pour répondre à la première question de recherche, nous avons utilisé une catégorisation à partir de l'analyse épistémologique pour classer les résultats des étudiants selon la notation qu'ils devaient utiliser. Nous avons aussi classé leurs résultats selon qu'ils découlaient d'une mesure directe ou d'un calcul (mesure indirecte ou prédiction à partir d'un modèle).

Pour répondre à la deuxième question de recherche, nous avons mené des entretiens semi structurés avec trois enseignants après l'analyse des fascicules de TP. Dans la première partie de ces entretiens, nous leur avons demandé entre autres quels étaient leurs objectifs pour ces TPs. Dans la seconde partie, nous leur avons demandé de commenter des extraits choisis du fascicule de TP. Après transcription, nous avons réalisé une analyse thématique des entretiens en étiquetant les extraits correspondant à « l'objectif des TPs par rapport à la mesure » et de « la règle concernant l'estimation des incertitudes en TP ».

Résultats

Pour répondre à la première question de recherche nous avons étudié si la notation d'un résultat est corrélée à son origine nous avons compté le nombre de résultats numériques que les étudiants doivent produire dans chacun des cas. Le résultat de ce décompte est présenté sur la figure 1.

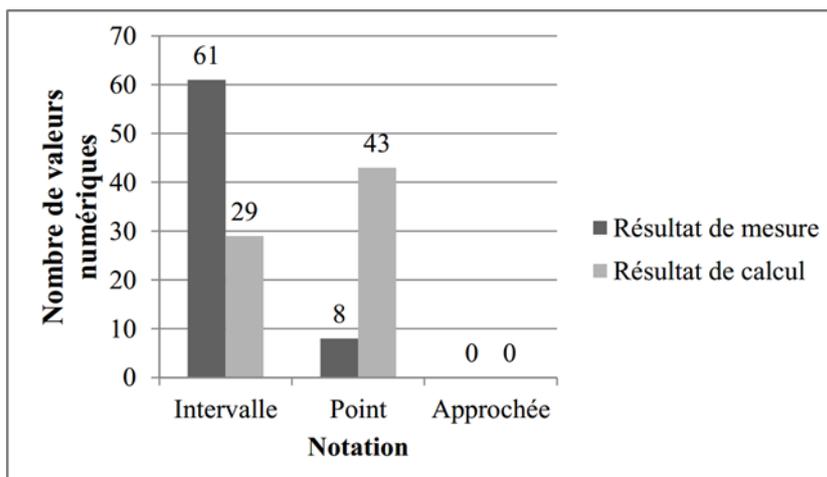


Figure n°1 : Nombre de résultats des étudiants en fonction de leur nature et de leur origine (N=141)

On voit sur cette figure que les étudiants calculent quasiment systématiquement l'incertitude associée aux résultats de leurs mesures alors qu'il ne calcule cette incertitude que sur moins de la moitié des résultats de leurs calculs. Dans la majorité des calculs dont le résultat est attendu en notation point, il manque l'incertitude sur une donnée de l'énoncé. En effet, aucune valeur donnée dans le fascicule de TP n'est écrite en notation intervalle : 41 valeurs en notation point, 7 en notation approchée. On peut donc répondre à notre première question de recherche en affirmant que les étudiants doivent calculer l'incertitude sur leurs mesures et ils doivent calculer l'incertitude sur leurs résultats de calcul quand c'est possible.

Pour répondre à la deuxième question de recherche, nous avons donc analysé les transcriptions des entretiens. Quelques extraits représentatifs des réponses des enseignants sont présentés dans la Table 1.

Objectif des TPs concernant les incertitudes

et pour les incertitudes l'idée c'est bah qu'ils voient qu'une mesure n'est pas absolue qu'un qu'une expérience c'est pas absolu

[qu'ils sachent] que de manière générale un instrument de mesure peut générer des erreurs tu vois?

Règle donnée aux étudiants

Je leur dis [...] c'est de la physique que vous faites faut que ça ait un sens donc déjà vous donnez un résultat avec une unité c'est pas des maths et ensuite comme c'est un TP il faut qu'il y ait une incertitude sur votre mesure puisque c'est un TP on considère que les incertitudes font partie intégrante de de l'activité et on leur dit ils le savent hein

Table 1 : Quelques extraits de l'entretien avec les enseignants

L'analyse des entretiens nous a permis d'établir que l'objectif principal des enseignants concernant les incertitudes de mesure est que les étudiants soient convaincus qu'il existe toujours une incertitude de mesure associée à l'utilisation de l'instrument de mesure. Pour parvenir à cet objectif, ils souhaitent que les étudiants estiment l'incertitude sur tous leurs résultats.

Conclusion

Dans cette étude de cas nous avons montré que lors des séances de TP les enseignants souhaitent que les étudiants calculent des incertitudes pour apprendre qu'une incertitude est toujours associée à l'utilisation d'un instrument de mesure et non pour utiliser cette incertitude pour tirer des conclusions sur leurs résultats. Les étudiants sont en pratique amenés à estimer les incertitudes sur la majorité de leurs résultats de mesure et sur moins de la moitié de leurs résultats de calcul. Cette pratique ne correspond pas au souhait des enseignants pour lesquels les étudiants devraient estimer l'incertitude sur tous leurs résultats. Une explication à deux niveaux peut être proposée : 1) les enseignants sont

focalisés sur l'incertitude associée à l'instrument de mesure ;2) l'incertitude qui n'est pas donnée sur les valeurs de l'énoncé est responsable des résultats de calcul demandés en notation point et les enseignants peuvent être amenés à négliger implicitement ces calculs du fait de leur complexité pour les étudiants.

Discussion et perspective

Notre première remarque concerne l'asymétrie entre les données de l'énoncé (sans incertitude) et les mesures réalisées par les étudiants (avec incertitude). Cette asymétrie peut renforcer la conception partagée par un certain nombre d'étudiants que les scientifiques peuvent connaître les valeurs de grandeurs physiques avec une précision infinie.

Deuxièmement, la pratique des incertitudes dans cet enseignement de travaux pratiques de physique est guidée par un objectif d'enseignement plutôt que par leur utilité en physique. Du point de vue de la physique, l'estimation précise des incertitudes est nécessaire quand il s'agit de comparer des valeurs proches de grandeurs physiques. Ainsi, cet enseignement ne permet pas a priori aux étudiants de construire la nécessité de ce calcul d'incertitudes présenté ici comme une norme.

Enfin, l'étude des pratiques des chercheurs en physique au sujet des calculs d'incertitude permettrait de donner un guide sur les situations d'enseignements pour lesquelles l'estimation précise des incertitudes est nécessaire de celles pour lesquelles un ordre de grandeur dont l'estimation régule le nombre de chiffres significatifs à garder pour le résultat est suffisant.

Références bibliographiques

- Allie, S., Buffler, A., Campbell, B., & Lubben, F. (1998). First-year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements. *International Journal of Science Education*, 20(4), 447–459.
- Buffler, A., Allie, S., & Lubben, F. (2008). Teaching Measurement and Uncertainty the GUM Way. *The Physics Teacher*, 46(9), 539–543.
- Kung Lippmann, R. L. (2005). Teaching the concepts of measurement: An example of a concept-based laboratory course. *American Journal of Physics*, 73(8), 771–777.
- Séré, M., Journeaux, R., & Larcher, C. (1993). Learning the statistical analysis of measurement errors. *International Journal of Science Education*, 15(4), 427–438.