

Comment les chercheurs en physique communiquent-ils les valeurs des grandeurs physiques ?

Construction d'une pratique de référence pour penser la transposition didactique

Aude Caussarieu
Service DUNES, ENS Lyon
ICAR, ENS Lyon

Andrée Tiberghien
ICAR, ENS Lyon

Résumé

Nous montrons que dans leurs publications les chercheurs en physique utilisent une variété d'écritures différentes pour rapporter la valeur d'une grandeur physique. Ces écritures peuvent être classées en neuf catégories en fonction de l'explicitation de la précision de la mesure et de la structure donnée au continuum des valeurs de la grandeur physique (un point, une demi-droite, un segment). Cette classification a été construite par la méthodologie de la théorie ancrée sur un corpus de 21 articles de différents domaines de la physique. Elle nous permet de montrer que les chercheurs utilisent l'écriture la plus fréquente dans l'enseignement : X

X) dans moins de 5 % des cas. Ce constat est discuté à l'aune des résultats sur l'utilisation de la même écriture dans les travaux pratiques de physique à l'université (environ 50 % des cas).

Mots-clés

Grandeurs physiques, épistémologie, publications scientifiques, mesure, incertitudes

How do physicists write down the values of physical quantities in their publications?

Building a reference practice before didactic transposition

Abstract

In this communication, we show that physicists use different forms of writing to communicate about the value of a given physical quantity. We developed a grid with nine categories based on both measurement precision and the structure given to the result of a measurement on the physical continuum (a point, a ray, a segment). This classification has been developed on a

corpus of 21 published papers in different physics fields. We show that it allows for classifying all the values of physical quantities in 20 papers. With this classification we show that the classical writing used in laboratory sessions — $X = X_0 \pm u(X)$ — is used less than 5% of the cases. This finding is discussed in the light of a much more frequent usage (about 50%) during physics practicals.

Key-words

Physical quantities, scientific publications, measurement, uncertainties

INTRODUCTION

L'enseignement de la physique vise la compréhension des modèles physiques et la maîtrise de procédures expérimentales. Depuis au moins une décennie, l'enseignement de la physique doit aussi conduire l'élève à se construire une représentation moins naïve de la nature des sciences. Saisissant ces enjeux, plusieurs équipes de didactique des sciences se sont intéressées depuis le début des années 1990 à l'enseignement « du traitement des données » et donc de l'estimation du résultat d'une mesure, et de son incertitude (Séré, Journeaux, & Larcher, 1993 ; Allie, Buffler, Campbell et Lubben, 1998 ; Buffler, Allie, et Lubben, 2001). Leurs résultats montrent que, même après enseignement, les étudiants ont des difficultés avec le traitement d'une série de mesures. En particulier, ils ont tendance à choisir la valeur qui se répète (le mode) plutôt que la moyenne. Ce raisonnement est d'ailleurs souvent associé à une conception naïve de la science dans laquelle il existe des valeurs vraies que l'on peut mesurer si l'on s'y prend correctement (Buffler, Lubben, et Ibrahim, 2009). Ce constat nous a conduites à nous intéresser à l'enseignement ordinaire de la mesure en première année d'université (Caussarieu et Tiberghien, 2016). Nous avons alors montré que lors de travaux pratiques (TP) de physique, ordinaires et représentatifs de ce qui se fait en France en L1, les enseignants demandaient explicitement aux étudiants de donner *tous* leurs résultats avec les incertitudes associées, comme le ferait « un bon expérimentateur » (introduction du fascicule de TP). L'écriture demandée aux étudiants est ainsi censée être celle utilisée par le scientifique dans sa pratique de laboratoire ; il n'y aurait donc pas de transposition. Le fascicule de TP que les étudiants doivent remplir pour communiquer leurs résultats à leur enseignant peut ainsi être vu comme l'analogie de l'article publié, qui permet au chercheur de communiquer ses résultats à ses pairs.

Dans cette communication, nous proposons donc une étude de la pratique des chercheurs de physique au travers de leurs publications. Pour cela nous présenterons une catégorisation des écritures des valeurs de grandeurs physiques que nous utiliserons

ensuite pour montrer que, contrairement à ce qui est souvent dit par les enseignants, même universitaires, les chercheurs écrivent la plupart des valeurs des grandeurs physiques sans donner explicitement l'incertitude qui leur est associée. Nous discuterons la distance entre la pratique prescrite en enseignement et la pratique de référence ainsi que les implications en enseignement.

QUELLES SONT LES ECRITURES DES VALEURS DE GRANDEURS PHYSIQUES QUE L'ON TROUVE DANS LES ARTICLES DE RECHERCHE EN PHYSIQUE ?

Méthodologie

Lors de l'analyse des fascicules de travaux pratiques menée pour un travail précédent (Caussariou et Tiberghien, 2016), nous avons trouvé qu'il était possible de catégoriser l'ensemble des valeurs des grandeurs physiques selon leur précision quant à l'incertitude associée : notation point (ex : $E = 4 V$), notation approchée ($f \sim 100 \text{ Hz}$) et notation incertitude ($\tau = (312 \pm 30) \text{ ms}$).

Pour étendre l'étude aux articles de recherche en physique, nous avons sélectionné 20 articles parmi les 20 plus gros clusters d'articles de physique (par proximité des citations) publiés en France en 2015 selon la méthode proposée par Grauwin et Jensen (2011). Nous avons ajouté à ce cluster l'article relatant la découverte du boson de Higgs (Chatrchyan et al., 2012). Certaines valeurs de grandeurs physiques rencontrées dans les articles de physique ne pouvaient être classés en utilisant les trois seules notations « point », « approchée » et « incertitude ». Nous avons alors poursuivi l'analyse de ces écritures en suivant la méthode qualitative de la « théorie ancrée (grounded theory) » (Strauss et Corbin, 1988). Nous avons mené une comparaison systématique de l'ensemble des 1070 valeurs de grandeurs physiques repérées dans ces 21 articles.

Résultats

Nous sommes alors arrivées à une catégorisation des valeurs des grandeurs physique selon 2 axes : la précision quant à l'incertitude associée (comme précédemment) ainsi que la structure du résultat sur le continuum des valeurs physiques qu'il peut prendre. Nous distinguons ainsi une structure de type « point », « demi-droite » ou « segment » comme on peut le voir dans le tableau 1. Cette dénomination géométrique nous semble justifiée par des expressions trouvées dans les articles telles que : « *mass must be greater than 500 GeV* » ou « *in the mass region 124-126 GeV* » (Chatrchyan et al., 2012).

Tableau 1 : Catégorisation des valeurs des grandeurs physiques

	Simple	Approché	Incertitude
Point	<i>of 2.8 μm</i>	<i>around 0.8 \AA</i>	<i>39.7 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$</i>
Demi-droite	<i>more than 120°C</i>	<i>smaller than ~ 1 TeV</i>	<i>> 35 (30) GeV</i>
Segment	<i>300–500 ns</i>	<i>about 5 to 10 min</i>	<i>115–130 (110–145) GeV</i>

Exemples d'écritures de valeurs de grandeurs physiques extraites des articles du corpus étudié. En grisé : les trois catégories sans représentant dans le corpus initial issu des clusters, mais dont des représentants ont été trouvés dans l'article relatant la découverte du boson de Higgs (Chatrchyan et al., 2012).

QUELLE REPARTITION DES DIFFERENTES NOTATIONS DANS LES ARTICLES DE RECHERCHE EN PHYSIQUE ?

Nous avons catégorisé l'ensemble des écritures rencontrées dans les articles de notre corpus (1070 valeurs de grandeurs physiques). En moyenne, chaque article contient 51 ± 60 (*sd*) valeurs de grandeurs physiques : les écarts sont en réalité très grands entre un article théorique qui ne contient aucune valeur de grandeur physique et l'article sur le boson de Higgs qui en contient 254.

Moyennes sur l'ensemble du corpus

Une première analyse des résultats consiste à calculer le pourcentage de présence de chacune des écritures sur l'ensemble des articles du corpus (Tableau 2).

Tableau 2 : Représentation des différentes écritures des valeurs des grandeurs physiques

	Simple	Approché	Incertitude
Point	60,7 %	13,6 %	4,6 %
Demi-droite	9,7 %	0,1 %	0,1 %
Segment	9,2 %	2,0 %	0,2 %

Proportion de chaque écriture sur l'ensemble des valeurs de grandeurs physiques dans le corpus étudié (21 articles de physique, N=1070 valeurs)

La première conclusion est que l'écriture « point \otimes incertitude » représente moins de 5 % des valeurs des grandeurs physiques repérées dans le corpus.

Moyennes des valeurs avec incertitudes par article

Une deuxième analyse consiste à regrouper, pour chaque article, l'ensemble des valeurs pour lesquelles l'incertitude est explicitement exprimée (3^{ème} colonne des tableaux de résultat) et à calculer la moyenne de ces valeurs. Sur les 21 articles étudiés, 2 ne contiennent pas de valeurs de grandeur physique (articles de physique mathématique), 11 ne contiennent aucune valeur exprimée avec son incertitude, et 8 contiennent des valeurs exprimées avec leur incertitude. Parmi ces 8 articles, l'un contient 34 % de valeurs exprimées avec leurs incertitudes (article théorique avec simulations), et les 7 autres contiennent moins de 10 % de valeurs exprimées avec leur incertitude.

CONCLUSION

Conclusion et discussion

Les résultats de cette analyse montre qu'il existe un fort écart entre ce que les enseignants disent en classe de la pratique du chercheur (donner systématiquement les incertitudes) et ce qui se passe dans les pratiques réelles de publication. Il peut y avoir de bonnes raisons pédagogiques pour demander aux étudiants d'estimer systématiquement les incertitudes, mais il n'y a pas de raison de justifier cette consigne par une pratique experte.

Limites

Les résultats montrent que le corpus choisi, même s'il est grand à l'échelle du nombre de valeurs de grandeurs physiques considérées (1070) reste petit à l'échelle de l'article au vu de la forte hétérogénéité des pratiques : (51 ± 60 (*sd*) valeurs de grandeurs physiques).

Perspectives

L'une des perspectives de cette communication consiste à comprendre le sens associé à chacune de ces écritures et les critères qui amènent les chercheurs à en choisir l'une ou l'autre. Ce travail pourra être mené en étudiant le contexte dans lequel apparaissent ces valeurs ainsi qu'en menant des entretiens avec les chercheurs, dans le rôle d'auteur, mais aussi de lecteur d'un article scientifique.

Une autre perspective ouverte par ce travail consiste à comprendre ce qui amène les enseignants à promouvoir une pratique des incertitudes lors des travaux pratiques qui est si différente de celle qu'ils pratiquent en recherche.

Enfin, l'on peut espérer que cette démonstration de la non systématique de la notation utilisée puisse convaincre les enseignants que ce n'est pas nécessairement une faute de ne pas demander systématiquement à un étudiant, de calculer l'incertitude associée à l'un de ses résultats.

BIBLIOGRAPHIE

- 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., Lubben, F., & Ibrahim, B. (2009). The Relationship between Students' Views of the Nature of Science and their Views of the Nature of Scientific Measurement. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1137–1156.
- Buffler, A., Allie, S., & Lubben, F. (2001). The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. *International Journal of Science Education*, 23(11), 1137–1156.
- Caussarieu, A., & Tiberghien, A. (2016). When and Why Are the Values of Physical Quantities Expressed with Uncertainties? A Case Study of a Physics Undergraduate Laboratory Course. *International Journal of Science and Mathematics Education*.
- Chatrchyan, S., Khachatryan, V., Sirunyan, A. M., Tumasyan, A., Adam, W., Aguilo, E., ... Wenman, D. (2012). Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC. *Physics Letters B*, 716(1), 30–61.
- Grauwin, S., & Jensen, P. (2011). Mapping scientific institutions. *Scientometrics*, 89(May), 943–954. doi:10.1007/s11192-011-0482-y
- Séré, M., Journeaux, R., & Larcher, C. (1993). Learning the statistical analysis of measurement errors. *International Journal of Science Education*, 15(4), 427–438.
- Strauss, A., & Corbin, J. M. (1998). *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*. SAGE Publications.