

ACTES

XII^e RENCONTRES SCIENTIFIQUES



15-18 novembre 2022, Toulouse

Université Toulouse Jean-Jaurès

Patrice Venturini et Lionel Pélissier

ardist



Les concepts de la métrologie dans l'enseignement supérieur en biologie

Analyse de supports de travaux dirigés et pratiques en Licence

Régent-Kloeckner, Myriam⁽¹⁾, Maisch, Clément⁽¹⁾, Daussy Christophe⁽²⁾

⁽¹⁾Laboratoire de Didactique André Revuz, CY Cergy Paris Université, Université de Paris Cité, Univ Paris Est Creteil, Univ. Lille, UNIROUEN, LDAR, F-95 000 Cergy-Pontoise – France.

⁽²⁾Laboratoire de Physique des Lasers (LPL), Institut Galilée, CNRS : UMR7538, Université Sorbonne Paris nord – France.

Résumé

Les sciences de la nature se construisent en relation avec l'observation qualitative et quantitative du monde qui nous entoure dans différentes situations expérimentales. Le mesurage et les mesures obtenues permettent d'objectiver ces observations mais nécessite de définir les grandeurs étudiées. Or, les caractéristiques observables dépendent de la nature des objets eux-mêmes et du questionnement théorique sous-jacent aux observations. La définition, les opérations et l'interprétation des mesures sont donc a priori dépendantes des spécificités disciplinaires. Centraux dans la recherche scientifique, le mesurage et la mesure le sont a priori aussi dans les enseignements scientifiques de la maternelle au supérieur. Dans cette étude exploratoire, nous cherchons à identifier et analyser les concepts et méthodes relevant de la métrologie qui sont mobilisés dans des enseignements de premier cycle universitaire de biologie (licence). Ce travail sera conduit au travers de l'exploitation des supports écrits fournis aux étudiants pour les travaux dirigés et pratiques.

Mots-clés :

Biologie ; Métrologie ; Mesure ; Enseignement supérieur

Introduction

Chaque discipline scientifique est caractérisée par ses objets d'études et par ces techniques d'analyses et de mesures (Becher, 1994). Le développement de nouvelles techniques et l'amélioration des mesures au sein d'une communauté disciplinaire fait l'objet de recherches et de publications dans des revues et journaux spécialisés⁶⁷. Les grands pays dans le domaine de la recherche scientifique disposent d'Institut Nationaux de Métrologie (le Laboratoire Commun de Métrologie LNE-CNAM en France). Pour autant les chercheurs en biologie sont peu au fait des concepts de la métrologie, science de la mesure « au service des autres sciences » (Perdijon, 2012), et une partie de la communauté appelle au développement de la pratique métrologique pour fiabiliser les résultats de recherche (« Better Research through Metrology », 2018 ; Coxon et al., 2019). Cependant, les concepts de métrologie, principalement développés par des travaux relevant des mathématiques et de la physique, peuvent nécessiter une adaptation aux objets d'étude de la biologie et leur particularité (Caussidier & Molinatti, 2015 ; Montévil, 2019). D'autre part, la question de la mesure ne s'arrête pas aux biostatistiques et à l'application de métrologie. Lange (2000) souligne l'importance de la « question de la possibilité et de la signification de la mesure » (p. 138), c'est à dire questionner la pertinence de la grandeur à mesurer, les aspects pratiques et théoriques du mesurage⁶⁸, et l'adéquation de l'interprétation des mesures vis-à-vis de la théorie mobilisée par le questionnement scientifique initial. Cette question est liée à la nature des sciences mais aussi à la théorie représentationnelle de la mesure qui distingue différents types de grandeurs ou échelles de quantifications (Houle et al., 2011 ; Lange, 2000). Ce questionnement semble aussi essentiel dans l'enseignement puisqu'une mauvaise adéquation entre une mesure et sa signification peut amener à des erreurs d'analyse et d'interprétation. Dans cette étude exploratoire, nous souhaitons déterminer les concepts et méthodes de métrologie pouvant être mis en jeu en licence de biologie.

Contexte

Du côté de l'enseignement en France, une introduction à la métrologie est au programme de physique-chimie au lycée depuis 1977 (Séré, 2008) avec un support spécifique autour de la méthode GUM (groupe IREM « Mesure et incertitudes », 2021). Aucun document similaire ainsi qu'aucun objectif explicite n'existent pour les Sciences de la Vie et de la Terre (SVT) alors que la mesure et la quantification font partie des mots-clés décrivant les pratiques scientifiques (introduction aux programmes de l'Enseignement Scientifique⁶⁹). À

67 On peut citer la revue *Nature Methods* pour la biologie, *Metrologia* en physique (et en chimie).

68 Nous considérons le mesurage comme l'ensemble des opérations permettant de déterminer expérimentalement une valeur qu'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur. Cette valeur sera appelée la mesure.

69 Depuis 2019, un cours intitulé enseignement scientifique est intégré au cursus commun de l'enseignement général au lycée.

l'université, les référentiels nationaux (2015)⁷⁰ de licences de sciences expérimentales mentionnent des compétences comme « identifier les sources d'erreur pour calculer l'incertitude sur un résultat expérimental ». Cependant, il semble que peu de syllabus de cours de biologie intègrent des notions métrologiques. Pourtant la connaissance et la maîtrise des techniques principales des sous-disciplines de la biologie constituent un des objectifs d'apprentissage du supérieur (Régent-Kloeckner, 2022).

Quelques travaux didactiques sur la mesure et la grandeur, à l'école primaire et dans l'enseignement secondaire, existent en physique et mathématique (Munier et al., 2018 ; Séré, 2008). Dans le supérieur, des recherches ont été menées en didactique de la physique (Buffler et al., 2009 ; Caussariou & Tiberghien, 2015 ; Maisch et al., 2008), mais très peu d'études existent en biologie. Une analyse comparative du mesurage a été menée par Fondère et al. (1998) sur des travaux pratiques comportant un travail spécifique sur la mesure, en biologie, chimie et en physique. Elles observent des spécificités disciplinaires mettant en évidence une place différente donnée aux lois et modèles vis-à-vis de l'objectif de mesure. Elles remarquent que contrairement à la physique ou à la chimie, en biologie, les modèles ou théories ne semblent être mobilisés qu'au moment de l'analyse des résultats. Les autrices insistent aussi sur l'importance d'un jugement sur la qualité des mesures en fin du processus de manière à valider ou non des hypothèses. Si cette étude s'intéresse aux incertitudes dans le mesurage, la question plus large de l'enseignement de la métrologie, elle, n'est pas discutée.

Problématique

Puisque les étudiants sont confrontés à des analyses de données en travaux dirigés et sont amenés à faire eux-mêmes des mesures en travaux pratiques, la notion de mesure n'est pas absente de leur formation. Nous souhaitons identifier les concepts et méthodes de la métrologie présents dans les supports cours de biologie en premier cycle universitaire.

Pour cela, nous nous appuyons sur plusieurs travaux, dont celui de Fondère et al. (1998) qui structurent les tâches proposées aux étudiants selon 4 étapes :

- l'objet de mesure : thème et types de données
- la réalisation des mesures : types d'observations (visuelles ou au travers d'un signal) et savoir-faire technique
- la gestion des mesures : erreurs, estimation des incertitudes, dispersion des données
- l'exploitation et l'interprétation des résultats.

En analysant des tâches proposées aux étudiants en licence de biologie (L1, L2), nous souhaitons répondre aux questions de recherche suivantes :

- Quels sont les concepts et les méthodes propres à la métrologie énoncés par les enseignants ? (acte, représentation, calibrage, erreurs, instrumentation,

70 <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/les-referentiels-de-competences-des-mentions-de-licence-45888>

unité/grandeur, écriture des valeurs, interprétation, comparaison, variabilité, statistiques...)

- Les différentes étapes de l'acte de mesurage décrit par Fondère et al. (1998) sont-elles toutes représentées dans les situations étudiées ?
- En lien avec la première étape de Fondère et al, nous identifierons les types de données ou échelles de quantifications (Houle et al., 2011) travaillés avec les étudiants ?
- Les incertitudes, concept central en métrologie, sont-elles présentées ou discutées comme les conséquences d'une variabilité analytique et/ou une variabilité biologique ? (Caussidier & Molinatti, 2015)

Méthodologie

Recueil de données

Dans une université française, nous avons recueillis les supports écrits de travaux dirigés (TD) de biologie et travaux pratiques (TP) fournis aux étudiants (L1, toutes sous-disciplines confondues), ainsi que les guides de correction fournis aux enseignants. Dans cet établissement, l'enseignement de la biologie représente une unité d'enseignement au premier semestre et deux unités au second semestre. Ces enseignements offrent une introduction aux différentes sous-disciplines de la biologie et une première base méthodologique et pratique. L'analyse de ces supports ne nous donne pas accès aux activités effectives des étudiants. Le recueil des supports des travaux pratiques de L2 est en cours.

Analyse de données

Pour identifier les différents concepts et méthodes propres à la métrologie présents dans ces supports d'enseignement, nous avons établi une grille à partir de travaux portant sur la mesure appliquée à la biologie (Fondère et al., 1998 ; Houle et al., 2011) et les grands axes de la métrologie (Perdijon, 2012). Cela nous a amené à séparer l'étape d'exploitation et l'étape d'interprétation des résultats. La grille est ainsi structurée en 5 catégories redivisées en critères :

- les types de données et de mesurages (ordre de grandeur, estimation ...),
- le mesurage (techniques et biais),
- la gestion des résultats du mesurage (dont l'identification de la variabilité et la question des incertitudes),
- l'exploitation des résultats du mesurage (par représentation graphique ou calculs secondaires par exemple),
- l'interprétation (lien avec les hypothèses et les modèles théoriques ou le retour sur les protocoles et l'acte de mesure).
 - Ces critères permettent d'établir la liste des concepts et méthodes de la méthodologie présentés dans les documents supports d'enseignements. Leur regroupement en catégories permet d'estimer l'importance relative des différentes étapes dans le travail proposé aux étudiants.

Chaque support d'enseignement sera analysé indépendamment par les 3 auteurs afin de valider la pertinence de cette grille d'analyse.

Néanmoins les concepts de métrologie peuvent être présents dans les énoncés sans faire pour autant l'objet d'une tâche d'apprentissage. Dès lors, l'usage pédagogique des éléments trouvés est estimé à l'aide des guides de correction fournis aux enseignants chargés de ces TD ou TP. Les éléments travaillés explicitement avec les étudiants pourront ainsi être distingués de ceux présents mais non travaillés. Une attention particulière sera également portée aux concepts et méthodes absents de cet enseignement.

De premiers résultats très préliminaires obtenus par l'étude des documents associés au premier semestre de L1 semblent montrer une grande diversité de type de données qualitatives et quantitatives mais aussi que la question des incertitudes (incluant la question des chiffres significatifs et des écart-types statistiques) est absente de cet enseignement. Les résultats obtenus par l'analyse des documents recueillis seront présentés lors de la conférence. Pour poursuivre, nous envisageons de compléter l'analyse de ces documents par des entretiens avec les enseignants afin d'obtenir des informations sur leurs pratiques.

Bibliographie

- Becher, T. (1994). The significance of disciplinary differences. *Studies in Higher Education*, 19(2), 151-161. <https://doi.org/10.1080/03075079412331382007>
- Better research through metrology. (2018). *Nature Methods*, 15(6), 395-395. <https://doi.org/10.1038/s41592-018-0035-x>
- 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. <https://doi.org/10.1080/09500690802189807>
- Caussariou, A & Tiberghien, A. (2017). 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*, 15, 997-1015. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9734-x>
- Caussidier, C., & Molinatti, G. (2015). La mesure en biologie : Son rôle et ses incertitudes. *Projet IREM « l'Interdisciplinarité au Lycée »*.
- Coxon, C. H., Longstaff, C., & Burns, C. (2019). Applying the science of measurement to biology : Why bother? *PLOS Biology*, 17(6), e3000338. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000338>
- Fondere, F., Pernot, C., & Richard-Molard, C. (1998). Analyse comparative de la gestion du mesurage en TP de DEUG à Orsay (biologie, chimie et physique). *Didaskalia*, 12, 63-92. <https://doi.org/10.4267/2042/23853>
- Groupe IREM « Mesure et incertitudes ». (2021). *Mesure et incertitudes au lycée*. Eduscol. <https://eduscol.education.fr/document/7067/download>
- Houle, D., Pélabon, C., Wagner, G. P., & Hansen, T. F. (2011). Measurement and meaning in biology. *The Quarterly Review of Biology*, 86(1), 3-34. <https://doi.org/10.1086/658408>

- Lange, J.-M. (2000). Les relations biologie/mathématiques interrogent l'enseignement des sciences de la vie. *Aster*, 30, 123-142. <https://doi.org/10.4267/2042/8744>
- Maisch, C., Ney, M., & Balacheff, N. (2008). Quelle est l'influence du contexte sur les raisonnements d'étudiants sur la mesure en physique ? *Aster*, 47, 43-70. <https://doi.org/10.4267/2042/28847>
- Montévil, M. (2019). Measurement in biology is methodized by theory. *Biology & Philosophy*, 34(3), 35. <https://doi.org/10.1007/s10539-019-9687-x>
- Munier, V., Chesnais, A. et Molvinger K. (2018). La mesure en mathématiques et en physique : enjeux épistémologiques et didactiques. Dans M. Bächtold, V. Durand-Guerrier et V. Munier (Dir.), *Épistémologie et Didactiques*, Presse Universitaire de Franche-Comté. 95-111.
- Perdijon, J. (2012). *La mesure : Histoire, science et technique*. Vuibert.
- Régent-Kloekner, M. (2021). L'aide à l'acculturation disciplinaire universitaire : étude des pratiques enseignantes du supérieur en biologie. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 24, 113-136. <https://doi.org/10.4000/rdst.3963>
- Séré, M.-G. (2008). La mesure dans l'enseignement des sciences physiques. Évolution au cours du temps. *Aster*, 47, 25-42. <https://doi.org/10.4267/2042/28846>