

La mesure et le mesurage en Biologie

Étude de travaux dirigés et pratiques en Licence

Résumé : La mesure – incluant l’acte de mesurage – est un point central en sciences. À la fois liée à des questions pratiques, techniques, épistémologique, mathématiques et à la discipline de travail, la mesure est un objet complexe à enseigner. Paradoxalement, elle fait rarement partie des objectifs explicites des enseignements scientifiques, notamment en Biologie en dehors des parcours formant spécifiquement des techniciens. Nous proposons une méthodologie afin d’explorer la question de l’enseignement de la mesure au cours du premier cycle universitaire en tenant compte à la fois des concepts de métrologie principalement enseignés en sciences physiques, et des particularités disciplinaires liées à l’étude du vivant et sa grande variabilité. Cette méthodologie sera mise à l’épreuve à travers l’analyse de supports de travaux dirigés et pratiques. Nous espérons ainsi pouvoir caractériser les aspects de la mesure sur lesquels les étudiants de biologie sont invités à travailler au cours de leur formation de licence.

Mots-clé : Mesure, Métrologie, Biologie, Enseignement supérieur

Contexte de la recherche

La science moderne répond au désir de connaissances objectives qui amène à la détermination d’invariants quantitatifs et mesurables qui pourront permettre de définir des lois, des théories sensées décrire le monde qui nous entoure. Liée au concept de rationalité développé par Bachelard, la mathématisation d’une science « renvoie à l’idée de quantification et de formalisation » (Lange, 2000, p.138) et implique la notion de mesure.

La mesure en Biologie

En biologie, la question de la diversité du vivant, liée aux différences entre organismes et aux variations au cours du temps et limitant la reproductibilité des expériences, impose des spécificités vis-à-vis de la mesure. Caussidier et Molinatti (2015) les séparent en deux : 1) la prise en compte de la notion de seuil et de la sélection du signal recherché ; 2) l’individualité des objets d’étude et la variabilité biologique interindividuelle. À travers une approche historique, Lange (2000) montre comment les biomathématiques, en particulier les biostatistiques, ont permis de gérer cette question des incertitudes associées à la variabilité du vivant. Ces incertitudes peuvent être interprétées comme les conséquences d’une variabilité analytique (prenant en compte les prélèvements de données et les techniques de mesurage) et/ou une variabilité biologique (intra- et inter- sujet) (Caussidier & Molinatti, 2015). Récemment plusieurs auteurs (Bordessoule, 2014; Coxon et al., 2019) traitent de la question de l’incertitude intrinsèque au travail des biologistes. Ils mettent en avant le besoin de se référer à la métrologie dans leur travaux de recherche. La métrologie est la science de la mesure c’est « un outils, une technique au service de toutes les sciences d’observation : elle permet de tirer le meilleur parti des observations » (Perdijon, 2012). Trois principaux axes structurent la métrologie : la définition des unités et d’étalons de référence, les outils de mesure, incluant l’instrumentation et les procédures associées permettant de certifier une « bonne » mesure, l’analyse des variations de mesures et leur interprétation en terme d’incertitudes (incluant les formes d’écritures des mesures) (Perdijon, 2012). Or si les concepts de la métrologie sont utilisés dans de nombreux domaines scientifiques, industriels ou commerciaux, leur prise en

compte dans les pratiques de recherche en biologie reste minoritaire, en témoignent un récent éditorial de Nature Methods (« Better Research through Metrology », 2018).

Cependant, la question de la mesure en biologie 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 ». Cela revient à questionner la pertinence de la mesure mais aussi les aspects pratiques et théoriques de l'acte de mesure, le mesurage, jusqu'à l'adéquation de l'interprétation des mesures vis-à-vis du réseau théorique mobilisé par le questionnement scientifique initial. La question de la pertinence et la signification de la mesure est à la fois intimement liée à la nature de la discipline mais aussi à la théorie représentationnelle de la mesure qui distingue différents niveaux de mesures ou échelles de quantifications (*type of scales*) (Houle et al., 2011; Lange, 2000). Constatant que cette théorie de la mesure est peu connue des biologistes, Houle et al. (2011) décrivent l'importance d'identifier ces échelles et donnent des exemples d'erreurs d'analyse et d'interprétation de mesures en biologie évolutive associées à cette non-identification.

De son côté, Montévil (2019) aborde la mesure d'un point de vue plus épistémologique et associe la spécificité de l'individualité des objets d'étude et la variabilité biologique – et par conséquent les variations de leur traits observables, mesurables – à leur historicité et au contexte dans lequel ils sont¹ au moment de la mesure.

L'enseignement de la mesure en biologie

Alors que des études portant sur la question de l'enseignement de la mesure et du mesurage existent en physique pour différents niveaux d'apprentissage (Buffler et al., 2009; Maisch et al., 2008; Munier & Passelaigue, 2012; Séré, 2008), très peu d'études existent en biologie. Une analyse comparative du mesurage en TP à l'université a été menée en 1998 par Fondère, Pernot et Richard-Molard, sur des enseignements de physique, de chimie et de biologie comportant un travail spécifique sur la mesure. Elles découpent les pratiques de mesurage des étudiants selon 4 points :

- ce qui est mesuré : thème et types de données
- la manière de réaliser les mesures : types d'observations (visuelles ou au travers d'un signal) et savoir-faire technique
- la manière de gérer les mesures : erreurs, estimation des incertitudes, dispersion des données
- l'exploitation et l'interprétation des résultats.

Elles observent des spécificités liées aux disciplines et mettent en avant la place différente des lois et modèles vis-à-vis de l'objectif de mesure. Contrairement à la physique ou 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 qui pourrait être relié à la nécessité du choix à prendre engendré par un acte de mesurage.

Même si cette étude discute des incertitudes dans le mesurage, la question de la métrologie n'est pas amenée. Alors qu'en physique-chimie un travail spécifique autour de la méthode GUM existe dans les programmes de lycée (groupe IREM « Mesure et incertitudes », 2021), aucun document similaire n'existe pour les Sciences de la vie et de la Terre. Cette absence semble être partagée par de

¹ Chaque organisme est lié à la fois à son histoire (de vie et évolutive) et au contexte (environnement) dans lequel il vit.

nombreux programmes de formation du supérieur (licences mention Sciences de la vie ou Sciences de la vie et de la Terre).

Objectif de la recherche

Si la métrologie en tant que telle n'est pas enseignée dans les cours de biologie universitaire (hors parcours spécifiques formant des techniciens), la notion de mesure n'est pas absente de la formation des étudiants, puisqu'ils sont confrontés régulièrement à des analyses de données en travaux dirigés et ils sont amenés faire eux-même des mesures en travaux pratiques.

Nous proposons ici, une étude exploratoire des tâches proposées aux étudiants en licence de Biologie (mention Sciences de la vie) sur le thème de la mesure et du mesurage.

A travers cette étude, nous souhaitons, en nous appuyant sur les différents points de l'acte de mesurage décrit par Fondère et al. (1998), construire une grille d'analyse pour recenser les différents concepts et méthodes de métrologie présents et travaillés avec les étudiants.

Nous espérons ainsi pouvoir situer la place qu'occupe la métrologie en biologie et estimer la variété des situations et stratégies de mesurages dans ces enseignements.

Méthodologie :

Le recueil des données est en cours au sein d'une formation universitaire de licence « Sciences de la Vie », des documents décrivant différents travaux dirigés (L1, toutes sous-disciplines de biologie, environ 30 séances, avec corrigés) et travaux pratiques (L1, L2) (biologie moléculaire, cellulaire, histologie, biochimie, 6 à 10 séances). Ces documents pourront être accompagnés d'entretiens avec des enseignants de manière à obtenir plus d'informations sur leur pratique si cela est nécessaire.

Une première grille d'analyse a été construite 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). Elle est structurée en 5 catégories redivisées en critères :

Catégories	Exemple de critères associés
Les types de données et de mesurages	<i>Ordre de grandeur, estimation, grandeurs physiques, comptage</i>
Le mesurage	<i>Techniques et biais</i>
La gestion des résultats du mesurage	<i>Identification de la variabilité, incertitudes</i>
L'exploitation des résultats de mesurage	<i>Représentation graphiques, calculs secondaires</i>
L'interprétation	<i>Lien avec les hypothèse et modèles théoriques, retour sur les protocoles et l'acte de mesure</i>

Tableau 1 : Les cinq catégories de notre grille et quelques exemples de critères subdivisant ces catégories

Premiers résultats

Une analyse partielle, utilisant cette grille, montre que les TD contiennent différents types de données issues d'acte de mesurage (comptage, grandeur physique...) mais contiennent très peu d'éléments se rapportant à la réalisation et de la gestion de la mesure (notamment la variabilité et la reproductibilité des mesures). Lorsque nous identifions ces catégories, par exemple le critère portant

sur les techniques de mesures, il nous semble nécessaire d'y associer différents statuts vis-à-vis du savoir (informatif, descriptif ou enjeu d'apprentissage).

L'analyse d'un échantillon plus vaste de TD (ensemble du premier semestre de Licence (L1) permettra la mise à l'épreuve et d'affiner de notre grille d'analyse. Celle-ci sera ensuite utilisée pour recenser les différents concepts et méthodes de métrologie sur les 2 premières années de licence de biologie.

Conclusion

À travers l'analyse de ces documents, nous espérons pouvoir situer la place qu'occupe la métrologie et estimer la variété des situations et stratégies de mesurages dans les enseignements universitaires de biologie. À une échéance plus lointaine, ce travail pourrait aussi mener à un travail interdisciplinaire avec les enseignements de physique et chimie et de statistiques, de manière à décroiser ces disciplines sur le terrain.

Bibliographie

- Better research through metrology. (2018). *Nature Methods*, 15(6), 395-395.
<https://doi.org/10.1038/s41592-018-0035-x>
- Bordessoule, D. (2014). L'incertitude assumée et mesurée en biologie, un indicateur de qualité. *Hématologie*, 20(1), 50-52. <https://doi.org/10.1684/hma.2014.0915>
- 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>
- Caussidier, C., & Molinatti, G. (2015). La mesure en biologie : Son rôle et ses incertitudes. *Projet IREM « l'Interdisciplinarité au Lycée »*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28265.70240>
- Coxon, C. H., Longstaff, C., & Burns, C. (2019). Applying the science of measurement to biology : Why bother? *PLOS Biology*, 17(6). <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.
<https://doi.org/10.4267/2042/23853>
- groupe IREM « Mesure et incertitudes ». (2021). *Mesure et incertitudes au lycée*. Eduscol.
- 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. <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.
<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., & Passelaigue, D. (2012). Réflexions sur l'articulation entre didactique et épistémologie dans le domaine des grandeurs et mesures dans l'enseignement primaire et secondaire. *Trema*, 38, 106-147. <https://doi.org/10.4000/trema.2840>
- Perdijon, J. (2012). *La mesure : Histoire, science et technique*. Vuibert.
- Séré, M.-G. (2008). La mesure dans l'enseignement des sciences physiques. Évolution au cours du temps. *Aster*, 47. <https://doi.org/10.4267/2042/28846>