

Commentaires de groupes de physique du collège de Genève concernant le modèle RRM de la maturité gymnasiale Suisse prévue pour 2023

Intro :

Depuis quelques années, les présidents de groupe (PG) de physique du Collège de Genève ont lancé au sein de leurs groupes des réflexions concernant les problèmes rencontrés dans la formation de base en physique et en mathématiques des élèves du canton ; les préoccupations communes à tous les enseignants de physique à ce propos ont été synthétisées dans une lettre envoyée au président de la CPG de physique, en mai 2018. Les PG ont aussi constaté que, de manière indépendante, les mêmes préoccupations étaient présentes au sein des facultés scientifiques de différentes universités. Ce document résume les considérations qui ont émergé ces dernières années lors des consultations des enseignants de physique du canton, afin qu'elles soient prises en compte à l'occasion de la consultation relative à la nouvelle maturité suisse.

Historique et considérations générales :

Avant 1998, tous les élèves genevois à « profil » scientifique bénéficiaient d'une formation en physique (y compris les laboratoires) de 2-2-3-5 heures en 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} année respectivement. Quant aux sections à « profil » strictement non scientifique (artistique, latine, classique et moderne), la physique y était dispensée aux élèves en 3^{ème} (2h) et 4^{ème} année (3h). Dans toutes les sections, les heures de physique étaient donc surtout (ou exclusivement, dans les sections non scientifiques) placées en fin de cursus gymnasial, comme c'est aussi et toujours le cas dans d'autres cantons.

Cela s'explique par le fait que, contrairement aux autres sciences expérimentales, la physique est une branche qui dépend naturellement de concepts mathématiques clés qui ne sont développés qu'à partir de la 3^{ème} année (par exemple la dérivation, l'intégration ou l'étude de fonctions).

La relation complexe entre la compréhension de la physique et celle des mathématiques va bien au-delà de la considération de ces dernières comme un simple outil de calcul pour la première, ou celle de la physique uniquement comme un cadre possible pour les applications des mathématiques. Ces deux disciplines ont historiquement avancé en s'appuyant l'une sur l'autre et ainsi les progrès de l'une sont inextricablement liés à ceux de l'autre [Karam, 2015]. Cette interdépendance se retrouve également dans le contexte de l'apprentissage, comme le témoignent des nombreux travaux de recherche en didactique (voir par exemple [Pospiech *et al.*, 2019] et citations).

D'une part, depuis des décennies on sait qu'une meilleure connaissance du langage mathématique permet d'avoir un apprentissage meilleure et plus aisé des contenus de physique (voir par exemple [Thorndike, 1946], [Meltzer, 2002] ou [Karam, 2015], [Torigoe &

Gladding, 2007 et 2011], [Pepper *et al.*, 2012], [Uhden *et al.*, 2012], [Wilcox *et al.*, 2013], [Bollen *et al.*, 2015]).

D'autre part, l'application des notions mathématiques à différents contextes de la physique donne la possibilité aux élèves de comprendre plus profondément la signification abstraite des équations et du symbolisme, amenant à une meilleure maîtrise des notions mathématiques sous-jacentes appliquées, et déclenchant un cercle vertueux, bénéfique à l'apprentissage des deux disciplines. Comme le dit Sherin (2001) "(...) successful students learn to understand what equations say in a fundamental sense; they have a feel for expressions, and this guides their work. More specifically, students learn to understand physics equations in terms of a vocabulary of elements that I call symbolic forms. Each symbolic form associates a simple conceptual schema with a pattern of symbols in an equation. (...) Physics expertise involves this more flexible and generative understanding of equations¹". En effet, contrairement au langage mathématique pur et sans application, les expressions utilisées en physique prennent des significations «substantielles»: ici les symboles correspondent à des grandeurs physiques, ont des unités, et les équations traduisent des relations conceptuelles entre ces grandeurs «substantielles» [Tuminaro & Redish, 2007]. Donner une signification physique aux symboles, y associer des unités et savoir utiliser les différentes significations du langage mathématique abstrait en les appliquant à la nature demande un effort dans le cours de physique. En même temps, cela ouvre à la capacité d'abstraction et la généralisation qui caractérise le langage mathématique appliqué à la nature et permet une compréhension plus approfondie des relations entre les quantités et des mécanismes sous-jacents.

Cet apprentissage transversal consistant à savoir sortir de la simple application de la « règle » apprise au cours de mathématiques pour la contextualiser dans le cadre du cours de physique n'est actuellement pas mis en valeur dans la maturité genevoise, où les mathématiques et la physique DF sont enseignées de manière déconnectée et incohérente pour la majorité des élèves (90%). Il est pourtant fondamental pour un apprentissage solide des compétences de base en mathématiques, propédeutiques aux études scientifiques.

Or depuis 1998, à Genève

- L'enseignement de la physique DF, concerne la majorité des élèves à profil scientifique (OS BI-CH), tout comme la possibilité de n'effectuer les mathématiques qu'au niveau 1;
- l'enseignement de la physique DF, y compris les laboratoires, a été déplacé aux premières années à raison de 1-2-2 heures en 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} année, cela jusqu'à la rentrée 2021²

¹ « (...) Les élèves qui réussissent apprennent à comprendre ce que les équations disent dans leur sens plus fondamental ; ils ont le « ressenti » des équations, et cela les guide dans leur travail. Plus spécifiquement, les élèves apprennent à comprendre les équations de physique en termes d'un vocabulaire d'éléments que j'appelle « formes symboliques ». Chaque forme symbolique associe un schéma conceptuel simple avec une forme de symboles dans une équation. (...) L'expertise en physique implique cette compréhension plus flexible et génératrice des équations. »

² À partir de la rentrée 2021 l'heure en 1^{ère} sera déplacée et 2^{ème} : 0-3-2-0.

- l'enseignement de l'OS PYAM garde la structure « logique » avec plus d'heures consacrées à cette option en fin de cursus tout en étant liée au choix du niveau 2 en mathématiques. Toutefois, elle ne concerne qu'une minorité d'élèves.

Par ailleurs, les enseignants de physique ont dénoncé l'impossibilité de respecter le plan d'étude et le niveau des exigences en physique DF³, car les élèves ne disposent pas des compétences mathématiques suffisantes dans ces degrés-là pour parcourir les chapitres requis par une formation de base en physique (incluant des contenus basiques comme le mouvement circulaire, des notions sur les ondes ou le magnétisme). Sans compter que les collégiens ayant une OS non scientifique n'ont actuellement aucune science expérimentale en 4^{ème} année, ce qui – en sachant que les sciences occupent déjà un pourcentage minimal dans la grille genevoise – est incohérent dans une formation généraliste, dans une société où la science et la technique sont devenues indispensables dans tous les domaines.

Recommandations :

En conséquence, à la lumière des nouveaux objectifs de la maturité fédérale et afin d'assurer une formation propédeutique scientifique cohérente, quels que soient les choix retenus, il en découle les recommandations suivantes :

- que l'enseignement de la physique et celui des mathématiques soient coordonnés : la physique devrait être enseignée à la fin du cursus gymnasial (exemple : la mécanique en physique devrait se faire principalement dans la même année que la dérivation en mathématiques, l'électricité et le magnétisme en même temps que l'intégration) ;
- que tous les choix d'options ou de disciplines d'approfondissement scientifiques soient liés à un niveau de mathématique renforcé ;
- que, même pour les choix non scientifiques, l'enseignement soit organisé de sorte à pouvoir parcourir le minimum des chapitres requis par une formation de base suffisante en physique (y compris le mouvement circulaire et parabolique, le champ magnétique, les ondes), tout en intégrant les compétences transversales requises (applications mathématiques, informatiques, ...)

³ Lors de la commission consultative de Novembre 2018, voir aussi le courrier au président de la CPG du 11 mai 2018 en annexe.

Références :

- Bollen, L., Van Kampen, P. and De Cock, M. (2015). Students' difficulties with vector calculus in electrodynamics. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 11, 020129.
- Karam, R. (2015). Thematic issue: The Interplay of Physics and Mathematics: Historical, Philosophical and Pedagogical Considerations. *Science and Education*, 24(5-6), S. 487-748.
- Meltzer, D. E. (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible "hidden variable" in diagnostic pretest scores, *Am. J. Phys.* 70, 1259.
- Pepper, R. E. , Chasteen, S. V. , Pollock, S. J. and Perkins, K. K. (2012). Observations on student difficulties with mathematics in upper-division electricity and magnetism, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 8, 010111.
- Pospiech, G., Michelini, M. & Eylon, B. (Eds.). (2019). *Mathematics in physics education*. Springer.
- Thorndike, A. (1946). Correlation between physics and mathematics grades. *Schol Sci. Math.* 46, 650.
- Torigoe, E. and Gladding, G. (2007). Symbols: Weapons of math destruction. *AIP Conf. Proc.* 951, 200.
- Torigoe, E. and Gladding, G. (2011). Connecting symbolic difficulties with failure in physics. *Am. J. Phys.* 79, 133.
- Uhden, O. , Karam, R., Pietrocola, M. and Pospiech, G. (2012). Modelling mathematical reasoning in physics education. *Sci. Educ.* 21, 485.
- Wilcox, B. R. , Caballero, M. D. , Rehn, D. A. and Pollock, S. J.(2013). Analytic framework for students' use of mathematics in upper-division physics, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 9, 020119.