



HAL
open science

Contribution à la rénovation des programmes de physique (lycée / collège) La nécessaire place des mathématiques dans l'enseignement de la physique

C. de Hosson, Nicolas Decamp, Julien Browaeys

► To cite this version:

C. de Hosson, Nicolas Decamp, Julien Browaeys. Contribution à la rénovation des programmes de physique (lycée / collège) La nécessaire place des mathématiques dans l'enseignement de la physique. Bulletin de l'Union des Physiciens (1907-2003), 2015. hal-01663275

HAL Id: hal-01663275

<https://hal.science/hal-01663275v1>

Submitted on 18 Dec 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Contribution à la rénovation des programmes de physique (lycée / collège)

La nécessaire place des mathématiques dans l'enseignement de la physique

par **Cécile de HOSSON**, **Nicolas DÉCAMP**

Laboratoire de didactique André Revuz (LDAR)

Université Paris Diderot-Paris 7 - 75013 Paris

cecile.dehossou@univ-paris-diderot.fr

nicolas.decamp@univ-paris-diderot.fr

et **Julien BROWAEYS**

Laboratoire Matière et systèmes complexes (MSC)

Université Paris Diderot-Paris 7 - 75013 Paris

julien.browaeys@univ-paris-diderot.fr

SI LES PLAIDOYERS récents pour des formes d'enseignement des sciences plus proches des pratiques de référence ont beaucoup mis l'accent sur la démarche scientifique, cette contribution vise à montrer que cette posture engage de fait d'autres aspects essentiels de ces pratiques, comme une nécessaire mathématisation du réel.

Homo, naturae minister et interpres, tantum facit et intelligit quantum de naturae ordine re vel mente observaverit : nec amplius scit, aut potest. Nec manus nuda, nec intellectus sibi permissus, multum valet ; instrumentis et auxiliis res perficitur; quibus opus est, non minus ad intellectum, quam ad manum.

L'homme, interprète et ministre de la nature, n'étend ses connaissances et son action qu'à mesure qu'il découvre l'ordre naturel des choses, soit par l'observation, soit par la réflexion ; il ne sait et ne peut rien de plus. Ni la seule main ni l'intelligence abandonnée à elle-même ne peuvent beaucoup ; ce sont les instruments et les aides qui font presque tout ; ils ne sont pas moins nécessaires à l'intellect qu'à la main.

Francis Bacon

1. CONSTAT

Les années 2000 ont été marquées par l'introduction de la « démarche d'investigation », d'abord dans les programmes de primaire (2002, sous l'impulsion du PRESTE⁽¹⁾) puis dans ceux de collège (2006). Aujourd'hui, l'enseignement des sciences (des classes

(1) Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école.

primaires au lycée) est placé sous l'autorité de ce paradigme pédagogique, qui concerne tout à la fois l'enseignement des mathématiques, des sciences de la nature et de la technologie.

Au-delà des difficultés réelles de mises en œuvre maintes fois soulignées par les recherches en didactique des sciences [3, 12], au-delà également du manque criant de résultats fiables (et de consensus) montrant la plus-value de ces démarches sur la motivation et l'apprentissage [8], une question qui devrait être aujourd'hui investie par l'Institution dans le cadre pédagogique actuel pourrait être *celle de la place des mathématiques dans ces démarches et de manière plus générale dans l'enseignement de la physique*.

En effet, les plaidoyers en faveur de l'enseignement des sciences par investigation valorisent l'idée qu'un élève placé en situation d'investigation va pouvoir vivre certaines étapes de la démarche scientifique et que, ce faisant, il va reprendre goût aux sciences puisqu'il aura approché la « vraie » nature du travail du scientifique, en éprouvant la joie de la science en création⁽²⁾. Admettons que l'hypothèse soit exacte⁽³⁾, il convient alors de revenir à ce qu'est le travail de création scientifique, de revenir aux fondements épistémologiques des disciplines scientifiques, de ceux de la physique en particulier, puisque c'est elle qui nous intéresse ici.

2. ÉLÉMENTS POUR UNE DÉFINITION DE LA PHYSIQUE

La physique est une discipline des sciences de la nature qui se distingue de la chimie, de la biologie et de la géologie par les objets dont elle s'occupe et par les méthodes qu'elle engage. Selon Eugène Wigner, lauréat du prix Nobel de physique 1963, le travail du physicien consiste à « établir les lois de la nature inanimée » [21]. Cette exploration peut concerner la structure de la matière, son organisation, ses transformations, son mouvement... ; elle peut engager des objets élémentaires ou des objets qui interagissent entre eux. En tant qu'activité scientifique, la physique désigne tout à la fois un corpus de savoirs (la loi de la gravitation, la densité de l'eau, les températures de changement d'état...) et les procédés ou activités conduisant à la découverte et à la création de ces savoirs. Dans ce contexte, les problèmes de la physique sont divers (explication, création de phénomènes, d'objets, prédictions de comportements...), mais globalement, leurs solutions prennent la forme de lois dont on suppose qu'elles régissent le comment de la nature inanimée, le comment de son passé et celui de son futur. Quelle organisation de la matière, du rayonnement... ? Par quel chemin en est-on

(2) Soulignons que cette idée est l'objet de débats au sein de la communauté des chercheurs en didactique des sciences, aussi bien en France qu'à l'étranger. Voir par exemple à ce sujet W. Sandoval [19], L. Pellissier et P. Venturini [15].

(3) Cette hypothèse soutient, pour partie, le rapport dit « Rocard » rédigé sous l'autorité de la Commission Européenne en 2007.

arrivé là ? Que se passe-t-il si... ?

Le procédé générique de l'établissement de ces lois consiste à traduire les phénomènes naturels par des grandeurs mesurables que l'on met en relation de manière mathématique. D'ailleurs, l'histoire de la physique témoigne de cette présence systématique des mathématiques, qu'il s'agisse d'algèbre (par exemple lorsque la physique se constitue en tant que discipline indépendante, entre la fin du XVII^e et le début XVIII^e siècle), ou qu'il s'agisse de géométrie (par exemple dans la tradition euclidienne qui prévaut dans le monde savant du V^e siècle av. J.-C. jusqu'à Newton).

3. LIENS MATHÉMATIQUES / PHYSIQUE : LES APPORTS DE LA RECHERCHE

Tant en didactique de la physique que dans le domaine des sciences cognitives, les liens féconds entre mathématiques et sciences physiques du point de vue de l'apprentissage sont aujourd'hui bien établis.

- ◆ Une bonne assise mathématique favorise l'apprentissage de la physique [2, 13]. Le sens commun se heurte souvent à des difficultés conceptuelles intrinsèques à la physique. Les mathématiques constituent un des registres permettant de lever ces difficultés. Par exemple, le sens commun peine à considérer qu'il existe des mouvements sans force. Un enseignant averti de cette difficulté pourra s'appuyer sur l'écriture et sur la notion de vecteur et de dérivée, pour éclairer le sens physique de cette loi mathématique. L'usage des lois mathématiques prend en effet un sens tout à fait différent lorsqu'il est mis au service des difficultés de compréhension. À cet égard, notons que la notion de « dérivée de vecteur » est peu travaillée en mathématiques, ce qui rend nécessaire un travail spécifique en classe de physique.
- ◆ L'apprentissage d'un concept scientifique est d'autant plus efficace que le concept est présenté sous ses différentes formes d'expression (numérique, graphique, langue naturelle...) – cf. Duval [5]. De nombreux exemples d'utilisation des graphiques notamment en cinématique, complémentaires de l'approche algébrique traditionnelle, ont été testés avec succès [10, 14].
- ◆ Le processus cognitif associé à la conceptualisation – dont les mathématiques sont partie prenante – est source de satisfaction intellectuelle. Ainsi, nous apprenons des travaux de recherche en sciences cognitives que *« l'un des plus grands facteurs de motivation est ce sentiment d'illumination qui se produit lorsqu'on comprend un nouveau concept ; le cerveau réagit très bien à cette sensation. L'école devrait faire en sorte que les enfants découvrent très jeunes le plaisir de comprendre, se rendant ainsi compte qu'apprendre est une expérience très agréable »* ([4], p. 85).

Ces considérations épistémologiques, didactiques et cognitives autorisent à valoriser l'idée que, si l'on veut que les élèves approchent tôt la nature de la science, il convient de ne pas la dénaturer. Enseigner la physique, c'est enseigner qu'elle est

intrinsèquement reliée aux mathématiques et cela peut se faire tôt, y compris par des démarches ouvertes ou de recherche. En ce sens, les mathématiques ont toute leur place dans un enseignement de sciences.

4. CONSÉQUENCES POUR LES ÉLÈVES

Nier la place des mathématiques ne conduit qu'à reculer artificiellement l'introduction de leur usage en physique. En donnant une image faussée de cette science, on crée les conditions d'une désillusion chez les élèves rétifs aux mathématiques, puisqu'ils y seront immanquablement confrontés. À l'inverse, les élèves ayant une appétence particulière pour les mathématiques semblent, selon les premiers chiffres, se détourner des études supérieures en physique.

Dans notre université, de nombreux étudiants de première année de physique expriment depuis deux ans leur déception de découvrir que la physique qualitative qu'ils ont apprise au collège et au lycée n'a rien de comparable avec ce qu'ils découvrent. Que leur a-t-on montré dans le secondaire ? De la physique, ou des éléments de culture scientifique reposant presque exclusivement sur des raisonnements analogiques supposément moins rébarbatifs que ceux qui reposent sur le calcul mathématique ? Dans la mesure où une telle entreprise de séduction aurait atteint son but, il faut se rendre à l'évidence : ce n'est plus de la physique à laquelle ont été exposés les étudiants.

Une récente enquête de la Société française de physique (SFP) montre ce hiatus entre ce qui a été enseigné au lycée et ce qu'est la physique.

La très grande difficulté à mener un calcul simple est aussi soulignée dans de nombreux commentaires. Pour beaucoup de nouveaux bacheliers, la physique est une matière descriptive au même titre que la biologie du XIX^e siècle... La notion de modélisation (au sens du modèle théorique à la fois descriptif et prédictif) pourtant considérée comme un des objectifs de la réforme semble totalement étrangère à la perception qu'ont les étudiants de la physique. [...]

Comme chez les répondants de CPGE (Classe préparatoire aux grandes écoles) et d'IUT (Institut universitaire de technologie), la constatation générale (quasi unanime) chez les répondants qui enseignent en Licence est celle d'une baisse considérable des capacités des étudiants à mettre en œuvre des calculs mathématiques pour la physique. [...] il semble que la disparition quasi totale de la formalisation en physique ait coupé le lien entre mathématiques et physique. Les étudiants ne perçoivent plus les mathématiques comme l'outil indispensable au physicien. [...]

Les étudiants appréhendent la physique comme une matière à la frontière du littéraire pour laquelle les connaissances se résument à des descriptions de situations et l'application de formules pour interpréter ces dernières. Le choc ressenti par nombre d'étudiants est important lorsqu'ils constatent que rigueur méthodologique et formalisme mathématique avancé sont

les outils quotidiens du physicien.

Ce constat d'une disjonction entre la physique et les mathématiques a été fait à l'Université Paris Diderot-Paris 7. Nous avons réalisé une enquête en septembre 2013 sur les savoirs élémentaires des quatre cent cinquante entrants en Licence 1 de physique, mathématiques et chimie, et constaté que seuls 39 % des nouveaux bacheliers 2013 connaissent la masse volumique de l'eau ; 39 % connaissent la formule de la surface d'un disque, seuls 47 % savent convertir des cm^3 en m^3 . Ce savoir a pourtant été appris, mais n'a jamais été réinvesti dans le contexte particulier de la physique, ce qui aurait certainement contribué à sa consolidation.

Avec de telles lacunes, comment les étudiants pourraient-ils avoir les moyens de construire une analyse rationnelle et prédictive d'une situation physique ? L'enseignement qui leur a été dispensé jusqu'à présent ne les a manifestement confrontés ni aux objets de la physique, ni à ses méthodes. L'orientation choisie ne peut donc être faite en connaissance de cause.

L'attractivité des études de physique semble avoir souffert de manière concomitante à la mise en place des nouveaux programmes. Le rapport IGEN (Inspection générale de l'éducation nationale) sur la mise en place des nouveaux programmes de première année en CPGE (2014) fournit les statistiques du site Admission post-bac (APB) quant à la filière de CPGE en premier choix des étudiants. Si l'on examine la proportion⁽⁴⁾ de filières PCSI (Physique, chimie, sciences de l'ingénieur), on trouve en effet une baisse significative :

- 2012 : 43 % (avant la réforme) ;
- 2013 : 37 % ;
- 2014 : 38 %.

5. PROPOSITION

Donner l'opportunité aux élèves d'utiliser les mathématiques pour « faire de la physique » c'est permettre d'approcher la nature de la physique. Cela n'a rien d'incompatible avec des démarches ouvertes d'apprentissage.

Une recherche conduite au LDAR sur le rebond des boules [11] dans un contexte

(4) Ces proportions sont à mettre en regard avec l'offre correspondante de places dans les prépas PCSI (Physique, chimie et sciences de l'ingénieur), qui vaut près de la moitié (48 %) du nombre de place totales (MPSI et PCSI). Cet effet se traduit aussi par un taux de remplissage des prépas PCSI de 84 %, tandis que les classes MPSI (Mathématiques, physique et sciences de l'ingénieur) sont remplies à 96 %. Les prépas PCSI sont désormais parmi les moins remplies, ce qui est évidemment source de coût pour la collectivité.

d'investigation, montre que le caractère prédictif des lois de la physique, exprimées sous leur forme mathématique, peut être particulièrement enthousiasmant. Il s'agit ici d'une démarche complète de modélisation, depuis le choix des observables jusqu'à l'établissement d'une loi phénoménologique, mais rien n'empêche de travailler autrement des modèles mathématiques de lois physiques.

Une fois une loi établie, elle devient en effet support de sens en physique à condition de faire varier ses paramètres et de travailler explicitement son expression. Il y a là un point crucial, ce ne sont pas tant les mathématiques en elles-mêmes qui forment le cœur de notre propos, c'est l'entraînement au passage de la formule à la situation physique et vice-versa... (que signifie la présence d'une valeur absolue dans une formule, comment varie tel paramètre lorsqu'on fait varier tel autre, pourquoi tel signe, quel sens donner à la présence d'un vecteur ?...).

Un appel à l'histoire des idées en sciences pourrait également soutenir ce projet de faire davantage interagir mathématiques et physique, en fournissant des situations appropriées.

Pour conclure, il paraît crucial aujourd'hui que les mathématiques prennent leur juste place dans la construction des savoirs en physique, qu'elles prennent leur juste place dans le processus de conceptualisation, car, pour reprendre les termes de Duval, c'est le passage d'une forme sémiotique à une autre qui garantit qu'un concept a été compris.

Refondre des programmes nécessite une démarche pluridimensionnelle et notre contribution n'aborde qu'un des nombreux aspects en jeu. D'une manière générale, la construction du programme doit permettre une structuration des connaissances qui nécessite forcément un temps long, et des changements de contexte. Les mots acquièrent doucement leur signification physique, et les concepts doivent être approchés par diverses voies cohérentes entre elles. Les interconnexions faites par les élèves sont constitutives de leur compréhension.

BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

- [1] F. Bacon, *Summi Angliae Cancellarii, Instauratio magna* [Novum Organum], Livre I, Aphorismes 1 et 2, Londres : John Bill, Traduction des auteurs, 1620.
- [2] J. M. Buick, "Investigating the correlation between mathematical pre-knowledge and learning gains in service physics", *European Journal of Physics*, n° 28(6), p. 1073, 2007.
- [3] B. Calmettes, *Didactique des sciences et démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation*, Paris : L'Harmattan, 2012.

- [4] B. Della Chiesa, « Comprendre le cerveau : naissance d'une science de l'apprentissage ». *Rapport publié sous la responsabilité de l'OCDE* (Organisation de coopération et de développement économiques, Paris, 2007.
- [5] R. Duval, « Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée », *Annales de didactique et de sciences cognitives*, vol. 5, p. 37-65, 1993.
- [6] A. Einstein and L. Infeld, *The evolution of physics : the growth of ideas from early concepts to relativity and quanta*. Cambridge : at the University Press, 1938.
- [7] M. Fabre, M. « Qu'est-ce que problématiser ? Genèses d'un paradigme ». *Recherches en Éducation*, n° 6, p. 22-32, 2009.
- [8] P.A. Kirschner, J. Sweller and R. E. Clark, "Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching", *Educational psychologist*, n° 41(2), p. 75-86, 2006.
- [9] N. Lederman, « Syntax of Nature of science within inquiry and science instruction ». *Scientific Inquiry and Nature of Science*, Eds L. Flick and N. Lederman, p. 301-317, The Netherlands : Kluwer Academic Publishers, 2005.
- [10] J.-L. Leroy-Bury et L. Viennot, « Doppler et Römer : physique et mathématique à l'œuvre », *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol. 97, n° 859 (1), p. 1595-1611, décembre 2003.
- [11] L. Martinez, « Construire un problème : un premier pas vers l'investigation en sciences. Analyse d'une formation d'enseignants de primaire en contextes français et colombiens », *Thèse en doctorat*, Université Paris Diderot, 2014.
- [12] S. Mathé, M. Méheut et C. de Hosson, « La démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? », *Didaskalia*, n° 32, p. 41-76, 2008.
- [13] D. E. Meltzer, "The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics : A possible "hidden variable" in diagnostic pretest scores", *American Journal of Physics*, n° 70, p. 1259, 2002.
- [14] L. Moutet, L. « Représentations graphiques et cinématique relativiste ». *Thèse de doctorat (en cours)*, Université Paris Diderot, 2014.
- [15] L. Pelissier et P. Venturini, « Qu'attendre de la démarche d'investigation en matière de transmission de savoirs épistémologiques ? », in B. Calmettes (dir.), *Didactique des sciences et démarches d'investigation. Références, représentations, pratiques et formation* (p. 151-181). Paris : L'Harmattan, 2012.
- [16] Rapport IGEN – Rapport n° 2014-052 – Mise en place des nouveaux programmes de première année en CPGE, juillet 2014.
<http://educ.gouv.fr/c82710>

- [17] N. Lebrun, R. Barbet-Massin, S. Magnier et D. Dumora, « Résultats de l'enquête sur l'impact des programmes de lycée en première année d'enseignement supérieur », *Bull. Un. Prof. Phys. Chim.*, vol.109, n° 972, p. 319-348, mars 2015.
- [18] E. F. Redish, J. M. Saul et R. N. Steinberg, "Student expectations in introductory physics", *American Journal of Physics*, n° 66, p. 212, 1998.
- [19] W. Sandoval, "Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry", *Science Education*, n° 89(4), p. 634-656, 2005.
- [20] M. K. Siu, *Harmonies in Nature : A dialogue between mathematics and physics*, (original work published 2008), in V. Katz and C. Tzanakis, Recent developments on introducing a historical dimension in mathematics education, p. 83-90, 2011.
- [21] E.P. Wigner, The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences. Richard Courant lecture in mathematical sciences delivered at New York University, may 11, 1959. *Communications on pure and applied mathematics*, n° 13(1), p. 1-14, 1960.



Cécile de HOSSON

Professeure des universités

Laboratoire de didactique André Revuz (LDAR)

Université Paris Diderot-Paris 7

Paris



Nicolas DÉCAMP

Maître de conférences

Laboratoire de didactique André Revuz (LDAR)

Université Paris Diderot-Paris 7

Paris



Julien BROWAEYS

Maître de conférences

Laboratoire Matière et systèmes complexes (MSC)

Université Paris Diderot-Paris 7

Paris