



## **A propos de l'enseignement de la physique dans le secondaire**

Jean-Christophe Pain

### **► To cite this version:**

| Jean-Christophe Pain. A propos de l'enseignement de la physique dans le secondaire. 2019. <hal-03709368>

**HAL Id: hal-03709368**

**<https://hal.science/hal-03709368v1>**

Submitted on 29 Jun 2022

**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.



HAL Authorization

# **A propos de l'enseignement de la physique dans le secondaire**

**Jean-Christophe PAIN**

## **Résumé**

L'objectif de cet article est de dégager un certain nombre de pistes de réflexion susceptibles de rendre l'enseignement de la physique dans le secondaire plus attractif et plus efficace. Il est notamment primordial de repenser l'articulation entre la démarche expérimentale et la transmission du savoir, d'octroyer une place importante à l'histoire des sciences, et de réduire l'importance accordée au commentaire de documents, qui se fait souvent au détriment d'une démarche scientifique solide, indissociable de la maîtrise de l'outil mathématique.

## **Mots-clés**

Sciences Physiques – Enseignement – Expérimentation – Didactique - Sérendipité – Analyse de documents – Connaissance – Innovation -

## **Introduction**

Les réflexions des groupes inter-associations (regroupant des membres de la Société Française de Physique, de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie et de l'Union des Professeurs de classes préparatoires) menées ces dernières années ont abouti au constat que l'évolution actuelle de l'enseignement de la physique pourrait avoir des conséquences très négatives sur la formation scientifique des jeunes (en particulier au lycée), et ainsi accentuer le déficit d'ingénieurs et de chercheurs déjà anticipé pour les années à venir. À terme, elle menacerait la place de la France dans les nombreux domaines de recherche ayant un lien avec la physique [1]. Elle risquerait également d'appauvrir la culture scientifique des citoyens ainsi que leur compréhension du monde physique, créant ainsi les conditions idéales du développement de l'obscurantisme sous diverses formes. La réduction du nombre d'heures consacrées aux sciences physiques et l'installation de leur caractère optionnel, renforcent encore ce sentiment. Il est du devoir de tous les physiciens de métier, enseignants et chercheurs, de tirer la sonnette d'alarme.

## **Première idée fausse : « L'expérience doit occuper une place prépondérante dans l'enseignement de la physique »**

Le point de départ de l'enseignement scientifique ne doit pas systématiquement être l'expérience (ou l'expérimentation). Les premières étapes de la démarche scientifique dont le questionnement, l'observation et l'analyse. Le questionnement peut-être spontané, ou

suscité par quelqu'un d'autre. Dans les deux cas, l'individu se retrouve face à une question, et éprouve l'envie (ou le besoin) d'y répondre. L'observation d'un phénomène peut-être fortuite ou délibérée, et dans ce dernier cas, elle peut être passive (je regarde un objet tomber) ou procédant d'une démarche active à travers la mise en œuvre d'une expérience (je laisse tomber une bille de plomb et une plume de la même hauteur). L'expérience contribue à l'élaboration d'une théorie, ou permet de la valider. Dans les deux cas, elle a vocation à préparer l'observation et l'analyse du ou des phénomènes observés peut permettre d'échafauder une théorie. Cela dit, l'observation peut être trompeuse et induire en erreur : on peut croire que l'on voit un phénomène donné, penser le comprendre, alors qu'il s'agit en fait de tout autre chose. L'histoire des sciences ne manque pas d'exemples de ce type (les rayons N du professeur Blondlot, les rayons J de Charles Glover Barkla, etc.) [2]. Par ailleurs, il est important de transmettre l'idée qu'un modèle théorique peut permettre de mettre en évidence des phénomènes physiques qui n'ont jamais été observés. Dans ce cas, c'est la théorie le point de départ, pas l'expérience.

Il ne faut pas proposer aux élèves une expérience toute faite, mais les faire participer de manière active au processus de conception d'une expérience destinée à répondre à une question donnée. Ce n'est pas le rôle de l'enseignement secondaire de faire en sorte que les élèves acquièrent des techniques expérimentales, en tout cas pas dans les filières générales.

Il est tout à fait possible, même au lycée, d'évoquer aux élèves des notions importantes de physique quantique (d'autant qu'ils en entendent beaucoup parler dans les médias à propos de l'ordinateur quantique, de la cryptographie quantique, etc.). Il n'est absolument pas nécessaire pour cela d'avoir acquis l'arsenal mathématique de la mécanique quantique, de savoir ce qu'est un « bra », un « ket », un opérateur hermitien, etc. On peut par exemple tout à fait leur expliquer qu'en physique quantique, c'est la mesure qui « fige » l'état du système. On peut même tout à fait envisager d'évoquer le paradoxe de Zénon quantique, c'est-à-dire le fait qu'une mesure répétée sur un système donné peut l'empêcher d'évoluer... Bien sûr, ils seront perturbés par ces affirmations, mais cela les fera réfléchir et attisera forcément leur curiosité. Ils accepteront que les règles du monde microscopiques puissent s'avérer très différentes de celles de leur monde à eux, et même contre-intuitives. Il est important de commencer à réfléchir dès le lycée aux notions d'observation et de mesure.

Pour illustrer la distinction observation / expérience, il me semble qu'il serait utile également de sensibiliser les élèves à la sérendipité, c'est-à-dire au fait de faire une découverte scientifique inattendue à l'issue d'un concours de circonstances fortuit. Le concept a été nommé par Horace Walpole en référence au conte persan « Voyages et aventures des trois princes de Serendip », dans lequel un puissant monarque, qui règne au pays de Serendip, envoie ses fils parcourir le monde pour parfaire leur éducation et apprendre les coutumes de chaque nation. Tout au long de leur chemin, les trois princes font des découvertes surprenantes, aux conséquences imprévues. Le mot apparaît pour la première fois dans une lettre adressée par Horace Walpole à son ami Horace Mann, envoyé

du roi George II à Florence, le 28 janvier 1754. Le fait de découvrir quelque chose par accident et sagacité alors que l'on est à la recherche de quelque chose d'autre (« accident and sagacity while in pursuit of something else ») est appelé « serendipity » par Walpole [3]. La sérendipité est à l'origine de nombreuses découvertes ; citons par exemple, dans le domaine scientifique : La loi de la gravitation universelle par Isaac Newton en 1684, l'infrarouge par William Herschel en 1800, l'électromagnétisme par Hans Christian Oersted en 1820, la radioactivité par Henri Becquerel en 1896, le neutron par James Chadwick en 1932, la radioactivité artificielle par Irène et Frédéric Joliot-Curie en 1934, le baryum par la fission de l'uranium par Otto Hahn et Fritz Strassmann en 1939, ou encore le rayonnement fossile (ou rayonnement thermique cosmologique) en 1965. L'expérience d'Oersted notamment devrait intéresser les élèves : en avril 1820, lors d'un cours sur l'électricité qu'il faisait à ses étudiants, Oersted découvrit la relation entre l'électricité et le magnétisme en remarquant qu'un fil transportant du courant était capable de faire bouger l'aiguille aimantée d'une boussole. Dans le domaine technologique également, la sérendipité est à l'origine de nombreuses innovations : la dynamite par Alfred Nobel en 1866, la pénicilline par Alexander Fleming en 1928, le « Velcro » (système de fixation crochets et boucles textile, aussi appelé « scratch ») par George de Mestral en 1941, le four à micro-ondes par Percy Spencer en 1946, etc. La sérendipité nécessite de la part de l'acteur un sens aigu de l'observation, une capacité à s'étonner, à s'interroger et à tirer profit de circonstances imprévues. Elle implique que les organisations prennent conscience que ce type d'innovation suppose d'être libre d'emprunter des chemins de traverse et de se perdre pour mieux aboutir. Sensibiliser les élèves à ce concept et ses conséquences est l'occasion de les surprendre, de faire passer des notions d'histoire des sciences et de les intéresser à la démarche scientifique.

La distinction opérée ci-dessus entre découvertes scientifiques et technologiques n'est pas innocente ; il est important de bien distinguer les deux dans l'esprit des élèves, même si elles ne sont évidemment pas disjointes. Il faut distinguer l'acquisition du savoir scientifique pour accéder à la connaissance de l'acquisition du savoir scientifique pour l'innovation. Des recherches fondamentales ont donné lieu à des applications importantes et insoupçonnées, alors que l'inverse est beaucoup plus rare : une démarche axée sur l'innovation, c'est-à-dire tendue vers les applications, a peu de chances d'aboutir à des découvertes fondamentales (même si cela arrive). Ce point sera repris dans le chapitre suivant.

### **Seconde idée fausse : « Pour intéresser les élèves, il faut se raccrocher à des choses qu'ils connaissent, au fonctionnement d'objets de leur quotidien »**

Un tel projet est bien évidemment illusoire. Les appareils d'aujourd'hui sont bien trop complexes. Mis à part le grille-pain (loi d'Ohm), le téléviseur d'antan (tube cathodique pour expliquer la trajectoire d'une particule chargée sous l'effet d'un champ électrique), les plaques à induction, etc. la physique enseignée dans le secondaire ne permet pas de comprendre dans le détail le fonctionnement des appareils technologiques sophistiqués

d'aujourd'hui qui font partie de la vie des élèves. Un smartphone est un appareil complexe bourré d'électronique. Bien sûr, il faut se raccrocher, lorsque c'est possible à des applications concrètes, mais cela ne doit pas guider le cours, ne doit pas servir de point de départ à l'enseignement.

Il est évidemment important de susciter l'intérêt et la curiosité des élèves, mais cela ne doit pas dénaturer les sciences physiques ni se faire au détriment de la rigueur scientifique et de la maîtrise de l'arsenal mathématique requis par la discipline. Par ailleurs, il n'est absolument pas certain (en tout cas quasiment aucun enseignant ne me l'a affirmé) que les élèves seraient davantage intéressés par les applications des sciences que par les questions fondamentales qu'elles soulèvent. Et quand bien même ce serait vrai, transmettre le goût d'une matière à des élèves en leur en donnant une image trompeuse, pourrait avoir des conséquences dramatiques sur ceux-ci à leur arrivée dans le supérieur, les obligeant à se réorienter après une ou deux années de premier cycle universitaire [4]. Au contraire, si on considère, ce qui à mon avis est le cas, qu'en plus de transmettre un savoir, le rôle de l'enseignant est de détecter les talents d'un élève pour mieux l'orienter, il faut pouvoir tester l'élève sur une pratique des sciences physiques sérieuse et de bon niveau, conforme à la manière dont elle est enseignée dans le supérieur. Les programmes de sciences physiques de ces dernières années ont accru le fossé entre le lycée et le supérieur. Or, c'est seulement grâce à une fréquentation répétée des notions sur plusieurs années, avec un degré d'approfondissement croissant et une pratique régulière, que les élèves peuvent progresser et devenir de bons scientifiques et de bons ingénieurs.

Le nombre toujours plus grand de sujets traités dans un horaire disponible toujours plus réduit conduit à des présentations et apprentissages superficiels, basés principalement sur l'analyse de documents, dont les enseignants ne sont pas les auteurs. Ces derniers peuvent en outre ainsi se sentir dépossédés de leur mission. L'élève n'est donc entraîné qu'à rechercher des informations dans un texte et à appliquer des formules sans nécessairement comprendre véritablement le sens physique. Analyser un document ne permet pas, en règle générale, sauf s'il s'agit d'un document décrivant toutes les étapes d'une démarche expérimentale (ce qui est rarement le cas), de se former au raisonnement scientifique. On pourrait tout de même arguer que cela confère aux élèves une plus grande adaptabilité, les prépare à ne pas être déstabilisés lorsqu'un exercice ne s'apparente pas à un « classique », qu'ils auraient pratiqué à plusieurs reprises pendant l'année. C'est vrai en principe, mais en pratique, on s'aperçoit que les élèves sont tout de même surpris par la nouveauté. Par exemple, l'épreuve de Spécialité de mathématiques du bac S de 2018 a fait l'objet de nombreuses critiques ; il comportait un exercice d'arithmétique sur les nombres puissants (un nombre puissant est un entier naturel  $m$  non nul tel que, pour chaque nombre premier  $p$  divisant  $m$ ,  $p^2$  divise aussi  $m$ ). Cette notion est peu connue, et certainement pas enseignée en classe de Terminale ; pourtant, l'exercice était très facile, et ne requérait aucune connaissance préalable. Cela n'a pas empêché un grand nombre d'élèves d'être désarçonnées...

Dans le même registre, on trouve parfois, dans certains sujets de bac, des questions étrangement nommées « questions ouvertes ». Il s'agit de questions en apparence éloignées des questions habituelles, mais pour y répondre l'élève doit puiser dans ses connaissances afin de déterminer à quelle partie du cours la question peut se raccrocher. L'objectif de ces questions est de vérifier en quelques lignes leur capacité à construire un raisonnement scientifique tout en s'appuyant sur leurs connaissances. C'est une bonne idée sur le principe, mais en réalité, la question n'amène pas l'élève à réfléchir, elle l'incite à chercher dans sa boîte à outil l'écrou le plus à même de convenir à la vis qu'on lui propose. Quoi qu'il en soit, c'est beaucoup trop difficile pour un élève du secondaire. J'ai parfois l'impression, qu'en réalité les « questions ouvertes » sont des questions imprécises, à laquelle finalement l'élève peut répondre à peu près n'importe quoi, ce qui permettra toujours de lui octroyer quelques points supplémentaires (ce sont toujours les sujets les plus difficiles qui produisent les meilleures notes au final).

## **Quelques préconisations pour l'élaboration des programmes**

Voici quelques éléments susceptibles de rendre plus solide et plus attractive la formation des lycéens en Sciences (et en particulier en physique).

### ***1. A partir de l'observation d'un phénomène physique, l'élève devrait apprendre à :***

- réfléchir à la manière de le modéliser,
- identifier des grandeurs importantes et de leurs relations,
- mettre le problème en équations,
- simplifier des équations en faisant des approximations justifiées,
- concevoir une expérience, même partielle ou indirecte, pour vérifier les prédictions théoriques du modèle,
- réaliser l'expérience.

***2. Renforcer la place accordée aux qualités rédactionnelles*** via la résolution d'exercices en réduisant la part de l'enseignement consacrée à l'analyse de documents.

***3. Revenir sur les notions importantes sur plusieurs années avec un degré d'approfondissement croissant (enseignement dit « en spirale »).*** Seule une pratique régulière peut permettre aux élèves de s'approprier ces notions pour aborder progressivement les sujets difficiles.

***4. Redonner une place suffisante à l'acquisition de savoirs mathématiques solides :*** en envisageant également une initiation plus précoce aux techniques de modélisation

numérique, ce qui est également effectué en cours de mathématiques dès le collège avec le logiciel de programmation Scratch développé par le Massachusetts Institute of Technology.

**5. Hiérarchiser les connaissances et les savoir-faire enseignés :** une astuce permettant de simplifier la résolution d'un problème donné ne doit pas être mise sur le même plan qu'une méthode universelle ! Une remarque anecdotique ne peut pas être mise en balance avec une loi essentielle.

**6. Mettre en évidence les liens entre différents domaines de la physique (et plus généralement de la science) abordés :** une méthode de calcul ou un mode de raisonnement s'assimilent d'autant mieux qu'on les a mis en œuvre dans des contextes variés. Dégager ces piliers fondamentaux n'est pas contradictoire avec une approche pluridisciplinaire et un décloisonnement des disciplines scientifiques qui viseraient à illustrer comment un problème scientifique peut être abordé de façon complémentaire par différentes disciplines [5].

**7. Faire comprendre à l'élève que l'on apprend de ses erreurs :** comprendre une erreur commise est le meilleur moyen de ne pas la commettre de nouveau et donc de progresser ; c'est aussi un moyen de valoriser un échec. L'enseignement de l'histoire des sciences, et notamment des erreurs ayant jalonné de grandes découvertes scientifiques, s'inscrit parfaitement dans ce cadre. Découvrir, pour un élève, que même les plus grands scientifiques ont souvent procédé par erreurs successives peut s'avérer décupabilisant et encourageant.

## **La nouvelle réforme du baccalauréat**

Dans le schéma proposé pour la réforme du baccalauréat, le socle de culture commune laisse une place extrêmement réduite aux sciences. Dans une lettre ouverte au ministre de l'éducation nationale, un collectif d'associations demande que les sciences réintègrent le tronc commun [6]. Dans cette lettre, trois demandes sont formulées :

**Demande n°1 :** tout lycéen doit bénéficier d'un enseignement scientifique, assumé comme tel, et dispensé par des professeurs de sciences. Cet enseignement doit être décliné suivant les profils des élèves (futurs scientifiques ou non) et proposer des contenus distincts clairement identifiés.

**Demande n°2 :** la palette des enseignements facultatifs en classe de Terminale doit être enrichie et accueillir des modules scientifiques supplémentaires (informatique, physique-chimie et sciences de la vie et de la Terre), à l'image des mathématiques « complémentaires ».

**Demande n°3 :** un enseignement facultatif de mathématiques en classe de Première doit permettre aux élèves qui le souhaitent de consolider ou de tester leur appétence pour les mathématiques, à l'image des mathématiques « expertes » de Terminale.

## Conclusion

La définition des programmes est un exercice difficile. Les changements majeurs partent toujours de bons sentiments ; mais parfois les réformes vont trop loin. Redonner une place plus importante à l'expérience était une bonne idée, mais cela a été fait au-delà du raisonnable ; le niveau en mathématiques (en tout cas pour ce qui concerne les mathématiques utiles au physicien) s'est appauvri, réduisant considérablement la capacité des élèves à modéliser un phénomène physique donné et à effectuer un travail scientifique sérieux.

Se raccrocher à des manifestations de la physique dans leur vie quotidienne pour mieux intéresser les élèves aurait pu s'avérer également une bonne idée, mais force est de constater qu'il s'agit surtout d'un leurre. L'illusion de pouvoir expliquer des phénomènes complexes à des élèves de collège ou lycée ne disposant que d'un nombre réduit d'heures dévolues aux sciences ne permet pas de les intéresser ; pire, cela leur confère, surtout à travers l'exercice surreprésenté d'analyse de documents, une vision trompeuse susceptible d'occasionner des erreurs d'orientation et des désillusions. L'amalgame entre science et technique (ou science et technologie) est en outre dangereux, et présente le risque de faire la part trop belle à l'innovation au détriment de la connaissance.

Il ne faut pas jeter la pierre aux enseignants qui conçoivent les programmes ; ils font un travail formidable et les manuels sont le fruit d'un travail considérable. Il ne faut pas non plus être passéiste, je ne crois pas à la formule trop facile « c'était mieux avant » ; les programmes d'il y a 20 ou 30 ans avaient également leurs défauts, et, même si les progrès scientifiques sont plus lents que les progrès technologiques, ces programmes ne seraient pas adaptés au monde d'aujourd'hui.

Il faut cependant faire marche arrière sur certains points, et vite. Conserver ce que les programmes récents ont apporté de positif, et réapprendre aux élèves à modéliser, à calculer, à poser et résoudre une équation. Enseigner la science comme moyen d'accès à la connaissance et à la compréhension du monde, et non comme outil d'innovation. Il faut agir vite, sinon dans quelques années notre pays comptera plus de banquiers que d'ingénieurs, et nos ingénieurs ne seront plus capables de rien concevoir. C'est à ce prix seulement que notre pays pourra relever les défis scientifiques, technologiques, industriels et environnementaux qui l'attendent.

## Références

[1] R. Barbet-Massin, P. Boissé, G. Bouyrié, Y. Brunel, N. Decamp, D. Dumora, D. Gratiyas, B. Julia, S. Olivier, J. Pacaud et J. Vince , « Réforme de l'enseignement de la physique au lycée. Repenser les fondements de la formation », Reflets de la Physique, numéro 51, pp. 34-35 (2016).



[2] J.-C. Pain, « Paul Langevin et le rôle de l'histoire des sciences dans l'enseignement », revue *Skhole, Repenser l'Ecole*, 13 février 2018.

[3] L. de Mailly, « Les Aventures des trois princes de Serendip », suivi de : D. Goy-Blanquet, M-A. Paveau et A. Volpilhac, « Voyage en sérendipité », Éditions Thierry Marchaisse, 2011 (ISBN 978-2-36280-003-0). Nouvelle édition commentée des contes parus en 1719.

[4] S. Bonnet, A. Fontaine et V. Parbelle, « Depuis 2013, le bac S est inadapté aux études supérieures de physique et de chimie », éditorial, *Reflets de la Physique*, numéro **43**, p. 2 (2015).

[5] R. Barbet-Massin, Y. Brunel, P. Boissé, G. Bouyrié, S. Olivier, V. Parbelle et J. Vince, « Groupe de réflexion inter-associations sur l'enseignement de la physique au lycée. *Quelques propositions* », *Bulletin de l'Union des Physiciens*, numéro **980**, vol. 110, pp. 165-182 (2016).

[6] S. Vinatier, S. Lacassie, A. Ernoult, E. Godlewski, G. Chambaud, G. Biau, C. Langlais, P. Paradinas, T. Horsin, S. Seuret, V. Parbelle, J.-F. Beaux et M. Prost, lettre ouverte à Jean-Michel Blanquer, ministre de l'Éducation nationale, Paris, le 13 mars 2018.

## **Auteur**

Jean-Christophe Pain

Ancien élève de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon, agrégé de physique, docteur en physique, chercheur en physique atomique des plasmas au Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies alternatives.