

Compétence en mathématiques des étudiants de physique

IBRAHIM ABOU HALLOUN

Résumé

Une enquête menée à l'Université Libanaise a montré que des étudiants inscrits à un cours de physique élémentaire n'ont pas la formation nécessaire en mathématiques en vue d'apprendre les théories fondamentales de la physique et de les mettre en pratique. L'efficacité des cours traditionnels de physique est alors mise en cause.

Abstract

A research conducted at the Lebanese University has shown that students enrolled in an introductory physics course have not acquired mathematical skills necessary for the learning and deployment of fundamental physics theories. The effectiveness of conventional physics instruction is then questioned.

Les physiciens se servent des mathématiques pour quantifier les propriétés des systèmes du monde, et manipuler, par la suite, les théories scientifiques d'une façon objective, précise et efficace. Au niveau universitaire, la physique est souvent présentée avec une mathématisation excessive, tout en supposant que les étudiants possèdent les connaissances logico-mathématiques requises. Nous présentons, dans cet article, une enquête menée à l'Université Libanaise pour examiner la validité de cette supposition, et nous discutons de ses effets sur le rendement de l'enseignement universitaire de la physique.

Dans un article précédent (Réf. 1), nous avons montré que le *réalisme naïf* des étudiants, lequel concerne les systèmes du monde, entrave l'apprentissage de la physique. La mauvaise formation des étudiants en mathématiques pourrait entraver, en outre, ce même apprentissage.

Selon la théorie piagétienne du développement intellectuel (Réf. 2), l'apprentissage de nouvelles informations est régi par les schèmes, ou structures mentales préexistantes. Selon la théorie cybernétique de l'«Information Processing System» (Réf. 3), les schèmes les plus fondamentaux sont ceux qui correspondent aux *codes*, ou symboles qui représentent les informations. Les codes de la physique comprennent des variables mathématiques et des opérateurs logiques et mathématiques qu'un étudiant doit maîtriser pour pouvoir suivre un cours universitaire de physique.

L'auteur de cet article a mis au point un test de diagnostic destiné à examiner si des étudiants en physique possèdent, en fait, de telles connaissances logico-mathématiques. Dans cet article, il se propose de présenter le test, ainsi que les résultats de son application à des étudiants inscrits à un cours de physique à l'Université Libanaise.

Aux USA, Hudson et Liberman (Réf. 4) ont trouvé que des étudiants qui font la physique n'ont pas la compétence suffisante en mathématiques. Les auteurs ont mesuré R^2 entre la performance de ces étudiants en physique et leur compétence en mathématiques: ils ont obtenu une valeur significative de 0.27. Wollman et Lawrenz (Réf. 5) ont aussi trouvé une corrélation significative entre la performance d'étudiants américains en physique et leur compétence en mathématiques.

Carpenter et ses collègues (Réf. 6) ont analysé les résultats d'un test de diagnostic de mathématiques qu'ont subi, en 1978, quelque soixante dix mille élèves américains, âgés de neuf à dix sept ans. Ils ont trouvé que la majorité des élèves effectuent les opérations mathématiques d'une façon machinale, sans avoir compris nécessairement les fondations conceptuelles de ces opérations. Ce même fait a été constaté par Gamble (Réf. 7) en Angleterre, chez des élèves âgés de treize à seize ans.

Lochhead (Réf. 8) a montré que des étudiants en physique confondent souvent les différents concepts de mécanique. Ceci résulte de leur mauvaise compréhension des représentations algébriques, et surtout des dérivées.

Clement et ses collègues (Réf. 9) ont démontré que des étudiants inscrits à de différents cours scientifiques sont souvent incapables d'établir la correspondance entre les situations pratiques et les différentes représentations mathématiques.

L'auteur de cet article avait montré que, aux USA (Réf. 10), la mauvaise performance des étudiants en physique est due, en grande partie, à leur incapacité: (a) à établir la correspondance entre les différentes représentations mathématiques, (b) à contrôler les variables, et (c) à identifier les règles de conservation.

Dans l'enquête qui fait l'objet de cet article, l'auteur s'est servi de l'instrument employé aux USA (Réf. 10), afin de pouvoir comparer les étudiants libanais aux étudiants américains. L'enquête est présentée en trois parties. Dans la première, il sera question de la méthode suivie, en particulier, des sujets, de l'instrument et des procédures. Dans la deuxième partie, il sera question des résultats de l'enquête actuelle comparés à ceux obtenus aux USA (Ref.10). Dans la troisième et dernière partie, tous les résultats ainsi obtenus seront discutés.

Méthode

II.1 Sujets

71 étudiants ont participé à cette enquête. Ils étaient inscrits à un cours de physique, à la faculté des Sciences II à l'Université Libanaise pour l'année académique 1984–1985. Le cours, désigné par le sigle P110, est un cours annuel qui traite de la mécanique classique, des mouvements vibratoires, de l'optique physique, de l'acoustique et de la thermodynamique.

L'échantillon comprend 18 filles et 53 garçons. Les participants sont titulaires du diplôme de fin d'études secondaires, le baccalauréat–deuxième partie, séries Sciences Expérimentales (17 sujets), ou Mathématiques Élémentaires (54 sujets). 16 participants préparaient une licence en chimie, les autres, une licence en mathématiques pures ou appliquées. Des études statistiques appropriées ont montré que les variables ci-distinguées, le sexe, le diplôme secondaire et la spécialisation, ainsi que l'âge et le lieu de résidence, n'ont pas d'effets significatifs sur les résultats de l'enquête. C'est pourquoi elles n'ont pas été retenues.

II.2 Instrument

L'instrument consiste en une épreuve écrite comportant 33 items à choix multiple. L'épreuve devra tester, diagnostiquer, en vue d'estimer si les sujets possèdent les habiletés logico-mathématiques les plus fondamentales pour un cours de physique du genre du P110. Chaque item consiste en une question suivie de cinq réponses dont une seule est correcte. Parmi ces items, 10 portent sur l'algèbre et l'arithmétique, 8 sur la géométrie et la trigonométrie, 5 sur l'analyse, 4 sur les graphiques, et 6 sur le raisonnement logique. Les professeurs de P110 à ladite faculté ont jugé que les habiletés testées dans l'épreuve sont les plus élémentaires et les plus pertinentes pour ce cours.

Le test de diagnostic a été formulé, au départ, par l'auteur, aux USA (Réf. 10). Il n'a pris sa forme actuelle qu'après avoir été administré, durant quatre ans, à plus d'un millier d'étudiants américains, inscrits à des cours de physique du genre du P110. Les premières formes du test comprenaient plus de 33 items. Les items dont la corrélation avec la performance des participants dans leurs cours de physique n'était pas significative furent rejetés. D'ailleurs, les items d'origine n'étaient pas à choix multiple. Les participants avaient alors à fournir leurs propres réponses, et les cinq réponses les plus fréquentes à chaque question ont été choisies pour l'item à choix multiple correspondant. Les distracteurs, ou fausses alternatives, correspondent plutôt à des fautes de principe qu'à des fautes de calcul, d'où leur importance pédagogique.

Des études statistiques ont été menées pour examiner la fidélité et la validité du test. Les résultats numériques reportés ci-dessous ont été obtenus dans une enquête précédente (Réf. 10). De telles procédures ont été impossibles dans cette enquête.

La fidélité du test a été d'abord vérifiée par l'administration de deux tests parallèles à des échantillons équivalents. Aucune différence significative n'a été révélée entre les résultats des deux tests. La formule No. 20 de Kuder-Richardson a été employée pour mesurer le coefficient de fidélité du test actuel. Avec différents échantillons d'étudiants en physique, ce coefficient a varié entre 0.85 et 0.88. Des discussions menées avec ceux qui ont participé à l'enquête ont montré que ceux-ci ont pris le test au sérieux, et que leurs réponses n'ont pas été choisies d'une façon aléatoire et arbitraire.

Des professeurs de physique et de mathématiques ont examiné le test au Liban et aux USA. Ils ont jugé que celui-ci possède une validité apparente (face validity), ainsi qu'une validité de contenu. Les sujets participant à cette enquête ont trouvé les questions assez claires.

Une validité de prédiction de la performance des étudiants en physique a été établie pour le test. Une analyse de régression (stepwise), mettant en jeu d'autres variables, comme la compétence et la formation des participants en diverses sciences, a donné un coefficient R^2 dont la valeur a varié entre 0.22 et 0.26 pour les différents échantillons.

II.3 Procédures

Les participants ont subi l'épreuve pendant une durée de 50 minutes, au début de l'année académique. La majorité des sujets a trouvé cette durée suffisante.

Un point est attribué à chaque item du test. Un sujet reçoit ainsi un point pour une réponse correcte, et zéro, dans le cas contraire. La note maximale est de 33 points. La note obtenue par un sujet est alors une mesure du *nombre d'habiletés* acquises. Un étudiant de P110 est supposé être capable de répondre correctement à toutes les questions, donc de recevoir la note maximale.

Résultats

Les résultats de cette enquête, présentés dans le Tableau 1, montrent que les participants n'ont pas la formation logico-mathématique qu'exige un cours de physique du type du P110. Dans un tel cours, on suppose que les étudiants ont acquis au préalable toutes les habiletés testées. Cependant, notre enquête montre que, en moyenne, 35% de ces habiletés ne sont pas acquises. Par conséquent, ces étudiants ne pourraient pas suivre aisément leur cours de physique. D'ailleurs, le coefficient de corrélation, mesuré entre la performance des participants à notre test et leurs notes finales du P110, a eu une valeur de 0.37 ($p < 0.01$). Quoique plus faible que la valeur obtenue aux USA (Réf. 10) par l'analyse de régression reportée en II.2, cette valeur montre une dépendance significative entre la compétence en mathématiques et la performance en P110. Cette corrélation peut être attribuée au fait que les examens traditionnels

de physique, à l'instar de ceux du P110, exigent de nombreuses opérations mathématiques, de sorte que la note reçue par un étudiant reflète sa compétence beaucoup plus en mathématiques qu'en physique.

Tableau 1

Moyennes et écart-types des notes attribués aux différentes parties du test

Partie du test	Nombre d'items	Moyenne	Écart-type
Algèbre & Arithmétique	10	7.91	1.67
Géométrie & Trigonométrie	8	5.41	1.57
Graphiques	4	2.26	1.34
Analyse	5	3.34	1.63
Raisonnement logique	6	2.49	1.46
Total	33	21.41	5.27

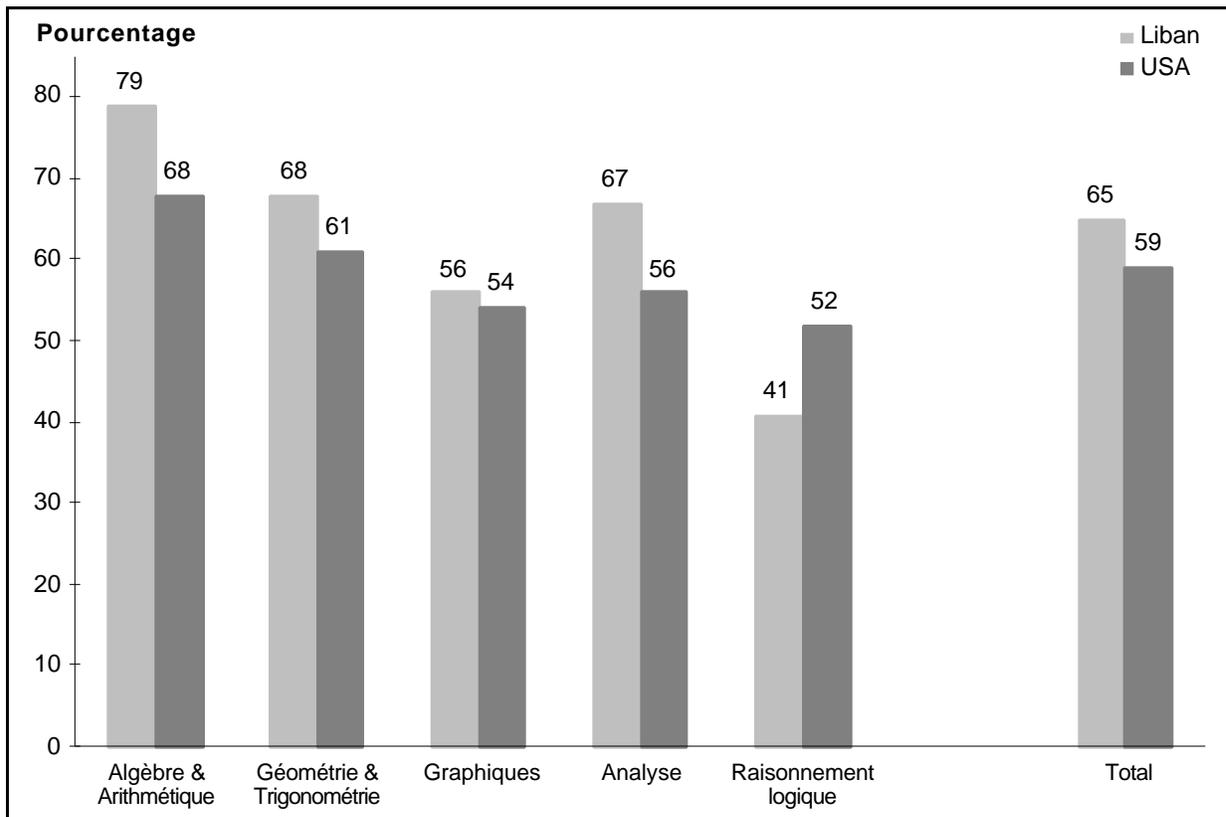


Figure 1. Comparaison des moyennes (sur 100) obtenues par des étudiants libanais (colonnes gauches) et des étudiants américains (colonnes droites).

La compétence des participants n'est pas homogène dans les différentes parties du test. Elle diminue relativement avec l'augmentation du degré d'abstraction des différentes parties, plus précisément, et dans cet ordre, de l'algèbre et l'arithmétique à la géométrie et la trigonométrie, l'analyse, les graphiques et le raisonnement logique. La même variation de compétence a été observée aux USA (Réf. 10), comme l'indique la Figure 1. Ceci pourrait indiquer une tendance universelle: plus les représentations mathématiques sont abstraites, et plus il est difficile aux enseignants de les assimiler. Dans l'enquête actuelle, on a constaté, en outre, qu'environ 13% des participants n'ont pu répondre correctement à aucune des questions des graphiques, 11% des questions d'analyse, et 11% des questions de raisonnement logique.

La faible compétence des étudiants en raisonnement logique pourrait surtout expliquer la rigidité du réalisme naïf de ces mêmes étudiants en ce qui concerne les systèmes du monde, comme il a été établi dans un article précédent (Réf. 1). Les étudiants libanais ont effectué, en moyenne, 70% des opérations mathématiques non logiques, alors que les étudiants américains en ont effectué 62 %, en moyenne. Cependant, les américains ont mieux performé en raisonnement logique (52% contre 41%). L'incompétence des libanais se manifeste surtout dans le contrôle des variables, et la reconnaissance des règles de conservation. Ceci pourrait expliquer pourquoi, en physique, les étudiants libanais ont plus de difficulté que les étudiants américains à résoudre le conflit entre le réalisme naïf et le réalisme scientifique (Réf. 1).

Discussion

Les mathématiques constituent un outil indispensable qui facilite la *communication* entre physiciens, et qui assure la *précision* et l'*objectivité* de l'expression et des opérations en physique. Sans elles, les révolutions paradigmatiques que cette science a subies, surtout durant le siècle dernier, n'auraient même pas été possibles. Cependant, on ne peut pas exiger de nos jeunes étudiants de faire la physique avec une mathématisation excessive, tout comme le font les physiciens, surtout non pas avant qu'ils soient capables de comprendre les fondements conceptuels et opératoires des mathématiques. Malheureusement, les livres scolaires et les méthodes traditionnelles de l'enseignement de la physique ne prennent pas en considération cette condition. La physique est alors présentée aux débutants de la même façon qu'on la présente aux experts, alors que ceux-là ne sont pas suffisamment compétents en mathématiques, comme le démontre notre enquête. Au lieu de faciliter l'apprentissage de la physique et de le rendre plus efficace, les mathématiques pourraient alors constituer un obstacle pour les enseignants.

Les résultats de Carpenter et ses collègues (Réf. 6) et de Gamble (Réf. 7) attirent l'attention sur le vrai danger de l'enseignement traditionnel de la physique. Les enseignants pourraient mémoriser des formules de physique et les employer machinalement et correctement dans la résolution des problèmes posés aux examens, sans avoir compris nécessairement les aspects conceptuels de ces mêmes problèmes. Ceci est prouvé dans l'enquête actuelle par le fait que les participants sont faibles en raisonnement logique. D'ailleurs, nous avons montré qu'un grand nombre d'étudiants réussissent aux examens de P110, tout en gardant profondément en eux un réalisme naïf dont les concepts sont incompatibles avec les concepts scientifiques de la physique (Réf. 1). C'est pourquoi, dans la partie précédente, nous avons attribué la corrélation entre la performance en physique et la compétence en mathématiques, non à un aspect intrinsèque du test de diagnostic employé, mais aux aspects mathématiques des examens traditionnels de physique.

Ainsi, nous sommes menés à conclure que, au lieu d'assurer aux étudiants une formation scientifique réelle, les méthodes et les moyens traditionnels de l'enseignement de la physique aboutissent souvent à la simple amélioration des facultés opérationnelles machinales des enseignants en mathématiques. D'où le besoin de remettre en question l'efficacité de cet enseignement.

1. I. A. Halloun. 1986. Le Réalisme Naïf et l'Apprentissage de la Physique. *Recherches Pédagogiques*, **17**, 23-47.
2. J. Piaget. 1960. Equilibration and the Development of Logical Structures, in: *Discussions on Child Development*, by J. M. Tanner & B. Inhelder (Editors). Tavistock Publications, London.
Sur le même sujet, une bonne recherche, de perspective piagétienne, peut être trouvée dans: B. Inhelder, H. Sinclair & M. Bovet. 1974. *Learning and the Development of Cognition*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
3. A. Newell & H. Simon. 1972. *Human Problem Solving*. Prentice Hall, New Jersey.
4. H. T. Hudson & D. Liberman. 1982. The Combined Effect of Mathematics Skills and Formal Operational Reasoning on Student Performance in the General Physics Course. *American Journal of Physics*, **50**, 1117–1119.
5. W. Wollman & F. Lawrenz. 1984. Identifying Potential Dropouts from College Physics Classes. *Journal of Research in Science Teaching*, **21**, 385–390.
6. J. P. Carpenter, M. K. Corbitt, H. Kepner, M. M. Lindquist & R.E. Reys. 1980. Results of the Second NAEP Mathematics Assessment: Secondary School. *Mathematics Teacher*, 329–338.
7. R. Gamble. 1986. Simple Equations in Physics. *European Journal of Science Education*, **8**, 27-37.
8. J. Lochhead. 1980. *The Confounding Effect of Cause and Effect, Change and Quantity*. BSCS Meeting, Boulder, CO.
9. J. Clement, J. Lochhead & G. S. Monk. 1981. Translational Difficulties in Learning Mathematics. *American Mathematical Monthly*, **88**, 286-290.
10. I. A. Halloun. 1984. *The Use of Models in Teaching Newtonian Mechanics*. PhD Dissertation. Arizona State University, Tempe, Arizona.