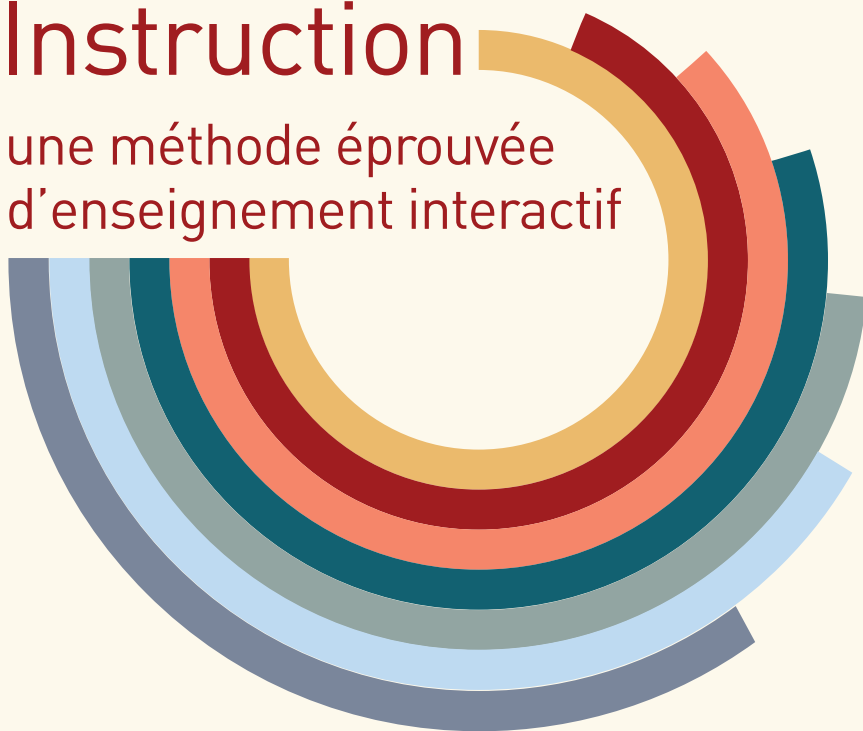


Eric Mazur

Peer Instruction

une méthode éprouvée
d'enseignement interactif



Peer Instruction

Le contenu de ce livre numérique est protégé par le droit d'auteur, son copyright est la propriété exclusive des *Presses polytechniques et universitaires romandes*. Vous pouvez disposer de ce contenu à titre privé et le copier sur vos propres supports de lecture. Toute forme de diffusion, de vente, de mise en ligne ou de publication de cette oeuvre est formellement interdite, sans l'autorisation écrite de l'éditeur. Les contrevenants s'exposent à des sanctions pénales conformément aux dispositions relatives au droit d'auteur et à la propriété intellectuelle.

e-isbn: 978-2-88914-375-7

Version imprimée »

Eric Mazur

Peer Instruction

une méthode éprouvée
d'enseignement interactif

Traduction française de l'édition américaine par
Vincent Faye et Sébastien Bréard

Presses polytechniques et universitaires romandes

Illustration de couverture: © arturaliev - Fotolia.com

La Fondation des Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR) publie principalement les travaux d'enseignement et de recherche de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), des universités et des hautes écoles francophones.

Le catalogue de leurs publications peut être obtenu par courrier aux Presses polytechniques et universitaires romandes, EPFL – Rolex Learning Center, CH-1015 Lausanne, par E-Mail à ppur@epfl.ch, par téléphone au (0)21 693 41 40, ou par fax au (0)21 693 40 27.

www.ppur.org

Authorized translation from the English language edition, entitled **Peer Instruction: a User's Manual**, 1st Edition by **Eric Mazur**, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright © 1997.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

The present French translation is property of **Presses polytechniques et universitaires romandes**, all rights reserved, copyright © 2014.

Première édition

ISBN 978-2-88915-082-3

© Presses polytechniques et universitaires romandes, 2014

Tous droits réservés

Reproduction, même partielle, sous quelque forme ou sur quelque support que ce soit, interdite sans l'accord écrit de l'éditeur.

Imprimé en Italie

Table des matières

	Avant-propos	XI
	Préface par Charles W. Misner	XV
	Préface par Sheila Tobias	XVII
	Première partie	
	Vue d'ensemble	1
1	Introduction	3
	Une prise de conscience	3
	Mémorisation ou compréhension	5
2	La méthode <i>Peer Instruction</i>	9
	Pourquoi faire cours ?	9
	Les questions conceptuelles (<i>ConcepTests</i>)	10
	Les résultats	16
	Les performances des étudiants sur les problèmes conventionnels diminuent-elles ?	18
	Évaluation en temps réel	19
	Conclusion	22
3	Motiver les étudiants	23
	Fixer les règles	23
	Les lectures préparatoires	26
	Les examens	27

4	Guide pour préparer un cours <i>Peer Instruction</i>	29
	Les idées principales	29
	Les questions conceptuelles	30
	Les expériences de cours	32
	Le cours	33
	Les examens	34
	Le problème des questions conventionnelles	34
	Pourquoi s'inquiéter ?	37
5	Exemple de cours	39
6	Conclusion	47
	Les questions souvent posées	47
	Quelques conseils	50
	Deuxième partie	
	Documents didactiques	53
7	Questionnaire sur le concept de force	55
	Questionnaire sur le concept de force (ou FCI pour <i>Force Concept Inventory</i>)	57
	Réponses	70
8	Questionnaire de référence pour mécanique	71
	Questionnaire élémentaire de mécanique (ou MB pour <i>Mechanics Baseline Test</i>).	72
	Réponses	83
9	Résultats du questionnaire d'introduction	85
	Résultats du questionnaire	85
10	Contrôles de connaissances	89
	Cinématique	90
	Lois de Newton	90
	Forces	91
	Travail	92

Forces conservatives	92
Énergie potentielle	93
Gravitation	94
Quantité de mouvement	95
Collisions	96
Cinématique des mouvements de rotation I	97
Cinématique des mouvements de rotation II	98
Dynamique des mouvements de rotation I	98
Dynamique des mouvements de rotation II	99
Oscillations	100
Ondes	101
Acoustique	102
Statique des fluides	103
Dynamique des fluides	104
Électrostatique I	105
Électrostatique II	106
Potentiel électrique I	107
Potentiel électrique II	107
Condensateurs	108
Loi d'Ohm	109
Courant continu	110
Magnétostatique	111
Loi d'Ampère	112
Effet Hall	113
Inductance	114
Inductance mutuelle	114
Courant alternatif I	115
Courant alternatif II	116
Équations de Maxwell	117
Ondes électromagnétiques I	117
Ondes électromagnétiques II	118
Optique géométrique I	118
Optique géométrique II	119
Optique physique I	120
Optique physique II	121
Diffraction	122

Histoire de la physique moderne	122
Dualité onde-corpuscule – relation d’incertitude	123
Spectroscopie	124
Atome de Bohr	125
Réponses	126
11 Questions conceptuelles	129
Cinématique	130
Forces	136
Énergie, travail, et conservation de l’énergie	142
Gravitation	151
Masse inertielle, quantité de mouvement, collisions	155
Interactions	168
Référentiels	174
Rotations	177
Oscillations	194
Acoustique	206
Statique des fluides	209
Optique	217
Électrostatique	236
Diélectriques et condensateurs	244
Courant continu	247
Magnétisme	254
Courant alternatif	263
Électrodynamique	270
Physique moderne	272
12 Questions d’examen conceptuelles	279
Cinématique	280
Lois de Newton	281
Travail et énergie	287
Quantité de mouvement et collisions	288
Rotations	289
Oscillations, ondes et acoustique	291
Fluides	291
Électrostatique	292

Courant continu	297
Magnétisme	299
Induction et équations de Maxwell	303
Courant alternatif	305
Optique	307
Physique moderne	308

AVANT-PROPOS

J'aime enseigner. Ce qui m'attirait dans la science n'était pas seulement l'enthousiasme d'y participer ou l'excitation de découvrir de nouvelles vérités, c'était aussi la satisfaction de transmettre à d'autres cet enthousiasme et cette curiosité.

J'ai enseigné aux étudiants de l'Université Harvard à partir de 1984. Initialement, je pensais – comme la majorité des gens – que ce qui était enseigné était appris, mais, avec le temps, je réalisais qu'il n'en était rien. En analysant ce que comprenaient mes étudiants à la mécanique de Newton, il apparut clairement qu'ils n'apprenaient pas du tout ce que je voulais qu'ils apprennent. J'aurais pu le leur reprocher si la frustration que le cours de physique générale engendrait chez certains étudiants ne m'avait pas embarrassé. Qu'est-ce qui, en sciences, peut mener à une telle frustration? J'ai décidé de modifier ma façon d'enseigner et j'ai découvert que je pouvais faire beaucoup mieux pour aider mes étudiants à apprendre la physique. C'est le propos de ce livre.

J'ai développé une façon d'enseigner interactive qui aide les étudiants à mieux comprendre le cours de physique générale. Cette méthode, appelée *Peer Instruction* (instruction par ses pairs), rend les étudiants actifs dans le processus d'enseignement. Elle est simple et – comme beaucoup d'autres l'ont montré – elle peut être aisément adaptée à différents styles de cours. La physique devient ainsi non seulement plus accessible pour les étudiants mais aussi plus facile à enseigner.

Cet ouvrage détaille comment élaborer des cours interactifs à partir de cours existants. De plus, il comprend un jeu complet de documents

testés en classe et prêts à être utilisés permettant de mettre en œuvre la méthode dans un cours de physique générale d'une année :

- Deux questionnaires permettant d'évaluer la compréhension de la mécanique chez vos étudiants.
- Des questionnaires pour savoir ce que les étudiants attendent du cours et dissiper les éventuels malentendus.
- 44 contrôles de connaissances, classés par thèmes et prévus pour être donnés en classe au début de chaque cours pour encourager les étudiants à lire les documents demandés chez eux.
- 243 exercices conceptuels, sous forme de questionnaires à choix multiples conçus pour être utilisés en cours afin d'amener les étudiants à s'interroger et évaluer leur compréhension.
- 109 questions conceptuelles d'examen, classées par thèmes principaux, permettant d'étayer la philosophie de la méthode.

Le blog *turntoyourneighbor* offre également un nombre important de ressources et de témoignages en anglais (blog.peerinstruction.net). Ces documents sont amenés à évoluer. Pour les compléter, un ensemble de ressources supplémentaires, continuellement mis à jour, est disponible sur le site web du *Project Galileo* de l'Université Harvard (<https://galileo.harvard.edu>). On y trouve, en outre, un forum réservé aux professeurs qui mettent en œuvre la méthode *Peer Instruction* dans leurs cours. Votre participation à ce forum sera appréciée. Vos commentaires, suggestions, ou corrections concernant ce manuel sont les bienvenus. N'hésitez pas à m'en faire part par courriel à l'adresse mazur@physics.harvard.edu.

Beaucoup de personnes ont participé à ce projet. C'est Dudley Herschbach du département de chimie de l'Université Harvard qui me suggéra en premier l'utilisation de questions pendant le cours. Debra Alpert, qui m'a rejoint en tant que post-doctorante en 1991, a alors participé à la plupart de mes recherches et joua un rôle central dans le développement des documents présentés ici. Je suis très reconnaissant à Anne Hoover qui a distribué des centaines d'exemplaires d'une première version de ce manuel, ce qui permit de diffuser cette méthode dans de nombreuses institutions. Je remercie toutes les personnes qui y ont participé. Je voudrais aussi remercier mes collègues de Harvard, Michael Aziz, William Paul, et Robert M. Westervelt, qui m'ont aidé à expérimenter cette méthode avec enthousiasme et qui ont contribué à

l'élaboration des documents. Nous devons tous beaucoup aux étudiants de physique de Harvard qui firent partie intégrante des premières expérimentations et qui nous ont appris comment leur enseigner. Je voudrais également remercier Albert Altman pour son enthousiasme indéfectible et l'énergie avec laquelle il a mis en œuvre cette méthode à l'Université du Massachusetts à Lowell, et Charles Misner pour sa recommandation d'inclure des ressources documentaires au manuel. J'adresse des remerciements particuliers à David Hestenes, Ibrahim Halloun, Eugene Mosca, Richard Hake, au regretté Malcolm Wells et à Gregg Swackhamer qui ont élaboré le *Questionnaire sur le concept de force* et le *Questionnaire de référence pour mécanique* et qui nous ont autorisés à les inclure dans ce livre.

Je suis infiniment reconnaissant aux personnes suivantes qui ont relu le manuscrit et apporté de nombreuses critiques pertinentes et constructives : Albert Altman, Université du Massachusetts, Lowell ; Arnold Arons, Université de Washington ; Bruce B. Birkett II, Université de Californie, Berkeley ; Paul Draper, Université du Texas, Arlington ; Robert J. Endorf, Université de Cincinnati ; Thomas Furtak, École des Mines du Colorado ; Ian R. Gatland, Institut de Technologie de Géorgie (Georgia Tech) ; J. David Gavenda, Université du Texas, Austin ; Kenneth A. Hardy, Université Internationale de Floride ; Greg Hassold, Institut de Management et d'Ingénierie (GMI Engineering and Management Institute) ; Peter Heller, Université Brandeis ; Laurent Hodges, Université d'État de l'Iowa, Mark W. Holtz, Université Texas Tech ; Zafir A. Ismail, Daemen College ; Arthur Z. Kovacs, Institut de Technologie de Rochester (RIT) ; Dale D. Long, Institut Polytechnique de Virginie (Virginia Tech) ; John D. McCullen, Université d'Arizona ; James McGuire, Université Tulane ; Charles W. Misner, Université du Maryland, College Park ; George W. Parker, Université d'État de Caroline du Nord (UNC) ; Claude Penchina, Université du Massachusetts, Amherst ; Joseph Priest, Université de Miami ; Joel R. Primack, Université de Californie, Santa Cruz ; Lawrence B. Rees, Université Brigham Young (BYU ou «Y») ; Carl A. Rotter, Université de Virginie-Occidentale (WVU) ; Leonard Scarfone, Université du Vermont ; Leo J. Schowalter, Institut Polytechnique Rensselaer (RPI) ; H. L. Scott, Université d'État de l'Oklahoma ; Shahid A. Shaheen, Université d'État de Floride ; Roger L. Stockbauer, Université d'État de Louisiane ; William G. Sturuss, Université d'État de Youngstown ; Robert S. Weidman, Université de Technologie du Michigan (MTU).

Enfin, je voudrais remercier Tim Bozik des éditions Prentice Hall qui m'a encouragé à publier ce manuel et Irène Nunes qui apporta un soin particulier à l'édition du manuscrit ainsi que de nombreuses et précieuses remarques. Je suis aussi très reconnaissant à Alison Reeves, Alison Aquino, Carol Trueheart, Ray Mullaney, Eric Hulsizer, et Jeff Henn qui ont tous durement travaillé pour transformer le manuscrit en livre.

À Concord, Massachusetts

Ce travail a notamment reçu le soutien de l'organisation Pew Charitable Trusts et de la Fondation Nationale pour la Science (National Science Foundation – NSF) sous les contrats USE-9156037 et DUE-9254027.

Ce projet a été en partie financé par les institutions suivantes.

Fondation Nationale pour la Science (Les opinions exprimées sont celles des auteurs et pas nécessairement celles de la fondation.)

PEW/SCIENCE PROGRAM (Programme scientifique pour l'enseignement supérieur.)

PRÉFACE

par Charles W. Misner

L'équation $F = ma$ se mémorise facilement, mais elle est difficile à utiliser et encore plus difficile à comprendre. Pour la plupart des étudiants, l'objectif d'un cours de physique générale n'est pas d'apprendre, par exemple, cette loi de la mécanique, mais d'acquérir les savoir-faire que les physiciens emploient lorsqu'ils utilisent ce genre de loi. Les savoir-faire essentiels, transférables à d'autres domaines, comprennent la simplification, l'idéalisation, l'approximation, la représentation schématique, graphique et mathématique des phénomènes, et, plus généralement, la modélisation mathématique ou conceptuelle. Mais l'idée que la physique se résume à des équations et à des mathématiques est un mythe si bien établi parmi les étudiants que nombre d'entre eux refusent de réfléchir si une alternative se présente sous la forme d'une équation à mémoriser. Dans son manuel *Peer Instruction*, Eric Mazur montre aux enseignants comment obliger les étudiants à réfléchir à la physique au lieu de jongler avec les équations.

C'est une étape très importante. Si ces méthodes d'enseignement étaient largement adoptées, cela constituerait un progrès significatif. Concevoir des cours où les étudiants sont actifs et interagissent est une idée stimulante. J'ai essayé de le faire après avoir entendu parler des techniques décrites par Mazur et Thomas Moore. Les résultats étaient encourageants, mais, je pense, limités par mon aptitude (et par le manque de temps) à imaginer de bonnes questions appropriées pour susciter des discussions. J'attends avec impatience de pouvoir utiliser les *exercices conceptuels* pour impliquer les étudiants et éviter qu'ils choisissent de se mettre en mode « téléspectateur passif » pendant le cours.

Un avantage majeur du manuel de Mazur est qu'il fournit des documents testés et adaptables pour concrétiser les méthodes qu'il propose. Par exemple, les *exercices conceptuels* conçus pour susciter des discussions et des interactions pendant les cours ne seraient pas pris au sérieux par les étudiants si des questions semblables n'étaient pas posées lors des examens. En conséquence, le manuel propose tout un ensemble de questions qui peuvent être utilisées telles quelles ou adaptées pour les examens. D'autre part, les étudiants ne se prépareront pas au cours interactif (en lisant ce qu'on leur demande) si rien ne les y incite. C'est le rôle des nombreux *Contrôles des connaissances*, utilisables eux aussi tels quels ou légèrement modifiés. La regrettable uniformité des livres d'introduction à la physique devient ici un avantage, car les *Contrôles de connaissance* proposés conviennent pour la plupart de ces livres.

En plus de fournir les documents indispensables, Mazur expose de manière claire et détaillée les méthodes qu'il utilise lors d'un cours donné dans une classe à effectif élevé. Puisqu'il est rare que les cours de physique générale soient donnés dans des classes de faible effectif, ces méthodes efficaces dynamisent l'enseignement scientifique d'une façon que tout enseignant peut adopter immédiatement sans remettre en cause l'organisation de son institution. Les méthodes de Mazur sont applicables autant par un chercheur qui enseigne sporadiquement, que par un professeur dont la fonction principale est l'enseignement scientifique. Je crois que la publication de ce manuel est un important service rendu à tous les enseignants de sciences physiques.

PRÉFACE

par Sheila Tobias

Depuis plus de dix ans, la communauté des physiciens s'est attaquée au problème que pose l'enseignement de la physique à des étudiants qui arrivent avec des idées fausses sur les notions de base. Se fondant sur la recherche en sciences cognitives, des professeurs de physique ont imaginé de nouvelles approches, de nouvelles démonstrations, des logiciels interactifs, des pédagogies innovantes et des contenus inédits pour rendre l'enseignement de leur discipline plus efficace et plus attrayant pour un ensemble plus vaste d'étudiants.

Ces professeurs tentent désormais de faire connaître ces nouvelles méthodes. Leur mise en œuvre est toutefois une gageure. Même les universités qui se donnent les moyens de participer à des rencontres nationales et développer des expérimentations pédagogiques mettant en pratique les idées présentées butent fréquemment sur des contraintes institutionnelles qui limitent l'applicabilité de ces nouvelles idées aux cours ordinaires.

À la lumière de mes travaux de recherche¹ et de mon expérience personnelle, je pense qu'il y a une large place pour une évolution des programmes d'enseignement, des logiciels éducatifs, et une nouvelle pédagogie enrichie, mais je pense aussi que les enseignants n'ont pas besoin d'une réforme complète des programmes, ni de matériels pédagogiques complexes (et coûteux). Ils ont plutôt besoin d'assistance pour améliorer leur enseignement et leur expérience.

¹ Sheila Tobias, *Revitalizing Undergraduate Science Education: Why Some Things Work and Most Don't*, Tucson, AZ: Research Corporation, (1992).

La méthode d'Eric Mazur apporte une telle assistance. Son manuel présente une approche interactive inédite pour enseigner la physique, qui privilégie la compréhension par rapport à ce que certains appellent la *tyrannie de la technique*. Son approche implique activement les étudiants dans le processus d'apprentissage, leur rendant la physique beaucoup plus accessible. Mais comment peut-on mettre en œuvre un enseignement interactif dans des classes chargées et hétérogènes?

Ici, pour la première fois, un manuel facile à utiliser détaille étape par étape une méthode qui a fait ses preuves. Avec ce manuel, les professeurs de physique ont un guide pour préparer une année de cours de physique générale interactif. (Les professeurs de chimie et de biologie y trouveront aussi beaucoup d'idées.) Ce manuel est organisé autour de thèmes principaux, que l'on retrouve dans un index où figurent aussi de nombreux concepts et mots-clés; il comporte en outre des questionnaires-diagnostic, des contrôles de connaissance, et un ensemble complet d'exercices conceptuels conçus pour susciter des discussions en classe.

La méthode décrite par Eric Mazur a été testée avec succès dans un certain nombre de situations, parfois assez différentes de celle de son propre enseignement à l'Université Harvard. À l'Université Lowell du Massachusetts et à l'Appalachian State University, par exemple, des professeurs de physique ont trouvé le moyen de combiner les exercices conceptuels avec l'enseignement participatif. Selon ma propre expérience, et compte tenu de la conjoncture économique, les professeurs et leurs administrations ont besoin d'un outil qui améliore l'apprentissage, qui peut être mis en œuvre sans investissements importants (en argent et en temps), et qui répond à la question: «Que faisons-nous aujourd'hui?».

Ce manuel répond à cette question, proposant des exercices conceptuels, des contrôles de connaissances, et des questions d'examen conceptuelles. Les documents qui le composent ouvrent le champ à une nouvelle façon de travailler que les universités, et plus particulièrement les étudiants, apprécieront.

Première partie

Vue d'ensemble

Chapitre 1 : Introduction

Chapitre 2 : La méthode *Peer Instruction*

Chapitre 3 : Motiver les étudiants

Chapitre 4 : Guide pour préparer un cours *Peer Instruction*

Chapitre 5 : Exemple de cours

Chapitre 6 : Conclusion

1

Introduction

Le cours de physique générale constitue souvent l'une des plus grosses difficultés que rencontrent les étudiants lors de leur formation. Pour un nombre conséquent d'entre eux, ce cours est une source permanente de frustration. Il suffit que je dise que je suis physicien pour entendre des lamentations au sujet de la physique au lycée ou à l'université. Cet état de frustration vis-à-vis de la physique est répandu parmi les étudiants qui doivent assister à un cours de physique alors que ce n'est pas leur spécialité. Même les étudiants en physique sont fréquemment déçus par leurs cours, et un nombre significatif d'étudiants initialement intéressés par la physique bifurquent vers d'autres disciplines. Pourquoi cela, et pouvons-nous y faire quelque chose ? Ou bien faut-il ignorer ce phénomène et centrer son enseignement sur les étudiants qui persévèrent ?

Une prise de conscience

La frustration associée aux cours de physique générale est connue depuis l'époque de Maxwell et on en reparle beaucoup depuis que Sheila Tobias a demandé à un grand nombre d'étudiants en lettres et en sciences sociales de faire le bilan des cours scientifiques auxquels ils ont assisté et de décrire leurs impressions¹. Les résultats de ce sondage sont rassemblés dans un livre qui brosse un portrait sombre des cours

¹ Sheila Tobias, *They're Not Dumb, They're Different: Stalking the Second Tier*, Tucson, AZ: Research Corporation, (1990).

de sciences. On peut être tenté de considérer que les doléances d'étudiants non physiciens émanent de personnes qui ne sont pas *a priori* intéressées par la physique. La plupart de ces étudiants, pourtant, ne se plaignent pas de leurs autres cours qui ne correspondent pas à leur spécialité. En sciences, selon Tobias, on s'attend à voir émerger les meilleurs, le système étant résolument concurrentiel, sélectif et intimidant, conçu pour ne conserver que l'élite.

La manière dont la physique était enseignée dans les années 1990 est peu différente de celle dont elle était enseignée – à un auditoire beaucoup plus restreint et spécialisé – dans les années 1890, bien que le public ait considérablement changé. La physique est devenue essentielle pour beaucoup d'autres disciplines, et les inscriptions en cours de physique se sont multipliées, une majorité d'étudiants ne se spécialisant pas en physique. Cette évolution du public a provoqué une modification profonde dans l'attitude des étudiants et fait de l'enseignement de la physique générale une gageure. Bien que les méthodes conventionnelles d'enseignement aient formé avec succès de nombreux scientifiques et ingénieurs, beaucoup trop d'étudiants sont démotivés par l'approche traditionnelle. En quoi ne convient-elle donc pas ?

J'enseigne la physique générale pour les futurs scientifiques et ingénieurs à l'Université Harvard depuis 1984. Jusqu'en 1990, je faisais un cours conventionnel comportant des leçons illustrées par des expériences. J'étais assez satisfait de mon enseignement – mes étudiants se sortaient bien de ce que je considérais comme des problèmes difficiles, et les critiques qu'ils m'adressaient étaient très positives. À ma connaissance, il n'y avait pas trop de problèmes dans *ma* classe.

En 1990, cependant, je suis tombé par hasard sur une série d'articles écrits par Halloun et Hestenes² qui m'ont véritablement ouvert les yeux. Il est bien connu que les étudiants viennent à leur premier cours de physique avec plein de croyances et d'intuitions sur les phénomènes physiques courants. Ces idées proviennent de leur expérience personnelle et influencent leur interprétation de ce qui leur est exposé en classe. Halloun et Hestenes montrent que l'enseignement ne change quasiment rien à ces « idées reçues ».

² Ibrahim Abou Halloun et David Hestenes, *Am. J. Phys.* 53, (1985), 1043 ; *ibid.* 53, (1985), 1056 ; *ibid.* 55, (1987), 455 ; David Hestenes, *Am. J. Phys.* 55, (1987), 440.

Par exemple, après deux mois de cours, tous les étudiants peuvent réciter la troisième loi de Newton et la plupart d'entre eux savent l'utiliser dans des problèmes numériques. Toutefois, un petit sondage montre rapidement que beaucoup d'étudiants ne comprennent pas cette loi. Halloun et Hestenes présentent de nombreux exemples où l'on demande aux étudiants de comparer les forces que différents objets exercent l'un sur l'autre. Quand on leur demande, par exemple, de comparer les forces en jeu dans une collision entre une voiture et un camion, beaucoup d'étudiants croient fermement que le camion exerce une force plus grande. En lisant cela, ma première réaction a été « Pas mes étudiants... ! » Intrigué, je décidai de tester la compréhension conceptuelle de mes propres étudiants ainsi que celle des autres étudiants en physique à Harvard.

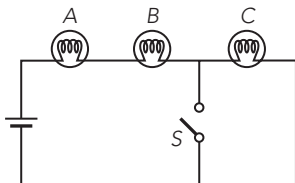
La première alerte survint lorsque je donnai le test d'Halloun et Hestenes à ma classe et qu'un étudiant demanda : « Professeur Mazur, comment faut-il répondre à cette question ? Conformément à ce que vous nous avez appris, ou selon ce que je *pense* ? » Les résultats de ce test furent un choc : les étudiants ne réussirent pas mieux le test d'Halloun et Hestenes que leur examen de milieu de semestre. Pourtant, ce test est *simple*, tandis que l'examen porte sur un programme (dynamique des solides en rotation, moments d'inertie) beaucoup plus difficile, du moins je le pensais.

Mémorisation ou compréhension

Pour comprendre ces résultats qui semblaient contradictoires, je décidai de combiner, lors des examens suivants, des questions qualitatives simples et des problèmes quantitatifs plus difficiles portant sur le même concept physique. Un exemple de questions combinées de ce genre, portant sur les circuits électriques, est présenté figure 1.1. Ces questions constituaient le premier et le dernier problème d'un examen de milieu de semestre qui a eu lieu au printemps 1991 dans une classe ayant suivi un enseignement conventionnel (les trois autres problèmes de l'énoncé d'examen traitaient d'autres sujets et ne sont pas reproduits ici).

Remarquons que la question 1 est purement conceptuelle et ne requiert que des connaissances de base sur les circuits simples. La question 5 teste la capacité des étudiants à traiter le même concept, mais

1. Un circuit série comporte trois lampes identiques connectées à une pile, comme le montre le schéma. Si l'on ferme l'interrupteur S , les grandeurs suivantes augmentent-elles, diminuent-elles, ou gardent-elles la même valeur?



- L'intensité du courant dans les lampes A et B.
- L'intensité du courant dans la lampe C.
- L'intensité du courant délivré par la pile.
- La tension aux bornes de chaque lampe.
- La puissance dissipée dans le circuit.

5. Dans le circuit ci-dessous, calculer (a) l'intensité du courant dans la résistance de $2\ \Omega$ et (b) la différence de potentiel entre les points P et Q.

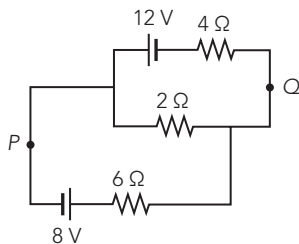


Fig. 1.1 Questions conceptuelles (en haut) et conventionnelles (en bas) sur les circuits électriques. Ces questions furent posées lors d'un examen écrit en 1991.

sous une forme numérique conventionnelle. Elle nécessite l'écriture de deux équations traduisant les lois de Kirchhoff, puis la résolution de ces équations. La plupart des physiciens considéreront la question 1 facile et la question 5 plus difficile. Le résultat indiqué figure 1.2 indique pourtant que les étudiants ayant suivi un enseignement conventionnel ne seraient pas d'accord.

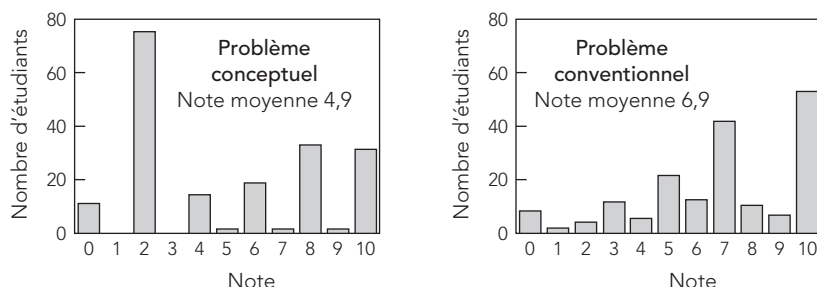


Fig. 1.2 Notes obtenues aux problèmes présentés figure 1.1. Pour le problème conceptuel, chaque question valait deux points.

L'analyse des réponses révèle la cause de la fréquence de la note 2 sur 10 pour la question conceptuelle: plus de 40% des étudiants pensaient que fermer l'interrupteur ne modifierait pas l'intensité du courant délivré par la pile, mais que le courant se diviserait en deux parties au niveau du nœud supérieur puis se rassemblerait au niveau du nœud inférieur! Malgré cette idée fausse, nombre d'entre eux ont réussi à résoudre correctement le problème mathématique.

La figure 1.3 montre l'absence de corrélation entre les notes obtenues pour les problèmes conventionnel et conceptuel de la figure 1.1. Bien que 52% des notes se situent dans la large bande diagonale, indiquant que ces étudiants ont obtenu à peu près la même note aux deux questions (± 3 points), 39% des étudiants ont obtenu une note sensiblement plus basse à la question conceptuelle. (Remarquons que certains étudiants ont réussi à obtenir zéro à la question conceptuelle et 10 à la question conventionnelle!) Inversement, beaucoup moins d'étudiants (9%) ont moins bien répondu à la question conventionnelle. Cette tendance a été maintes fois confirmée avec des problèmes combinés de façon similaire au cours du semestre: les étudiants ont tendance à être significativement plus performants pour résoudre des problèmes conventionnels que pour résoudre des problèmes conceptuels portant sur le même sujet.

Cet exemple simple met en évidence un certain nombre de difficultés que l'on rencontre dans l'enseignement scientifique. Premièrement, les étudiants peuvent répondre correctement aux problèmes conventionnels en mémorisant des algorithmes mais sans comprendre

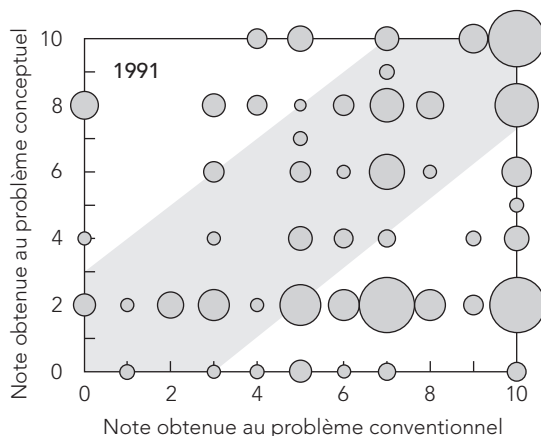


Fig. 1.3 Corrélation entre les notes obtenues aux problèmes conceptuel et conventionnel (fig. 1.2). Le rayon de chaque cercle est proportionnel au nombre d'étudiants concernés.

la physique sous-jacente. Deuxièmement, il découle de cela qu'un professeur, même expérimenté, peut se tromper complètement lorsqu'il pense que ses étudiants ont assimilé leurs leçons. Les étudiants sont sujets aux mêmes leurreux : ils croient qu'ils maîtrisent le programme, mais ils risquent une sévère déconvenue s'ils découvrent que leurs recettes toutes faites ne fonctionnent pas avec un autre problème.

Visiblement, un grand nombre d'étudiants dans ma classe se contentaient d'apprendre des « recettes », ou des « stratégies de résolution de problèmes », comme on les nomme dans les livres, sans prêter attention aux concepts sous-jacents. Tout cela expliquait pas mal de choses :

- Les sempiternelles requêtes des étudiants voulant faire plus d'exercices et passer moins de temps sur les leçons. N'est-ce pas ce à quoi on doit s'attendre si les étudiants sont évalués et classés selon leur capacité à résoudre les problèmes ?
- Les erreurs inexplicables que font quelques étudiants apparemment brillants – les stratégies de résolution de problèmes fonctionnent sur certains problèmes mais sûrement pas sur tous.
- La frustration des étudiants vis-à-vis de la physique. Comme la physique doit être ennuyeuse si elle se résume à un ensemble de recettes mécaniques qui ne marchent même pas tout le temps !

2

La méthode *Peer Instruction*

Un des problèmes de l'enseignement conventionnel vient de la présentation des documents. En général, tout est détaillé dans le manuel et/ou le cours photocopié, ce qui peut démotiver les étudiants d'assister aux cours. Une partie du problème provient aussi du fait que le cours consiste traditionnellement en un monologue délivré à une audience passive. Seuls les orateurs d'exception sont capables de capter l'attention des étudiants durant tout un cours. Il est encore plus difficile d'amener les étudiants à tenir un raisonnement critique. En conséquence, le cours conforte la conviction des étudiants que ce qui importe le plus pour posséder une bonne maîtrise du programme est de réussir à résoudre les problèmes. Cela conduit les étudiants à réclamer encore et encore des exercices (pour mieux s'entraîner à les résoudre), ce qui renforce encore leur sentiment que la clé du succès est la capacité à résoudre des problèmes.

Pourquoi faire cours ?

La première fois que j'ai préparé un cours de physique générale, j'ai consacré beaucoup de temps à rédiger mes notes que je distribuais à mes étudiants à la fin de chaque séance. Ces notes étaient appréciées car elles étaient concises et elles fournissaient une bonne vue d'ensemble de ce que contenait le manuel.

Arrivés à la moitié du semestre, quelques étudiants me demandèrent de distribuer mes photocopies à l'avance afin qu'ils n'aient plus à prendre de notes en cours pour y être plus attentifs. Je leur rendis volontiers ce

service, et, la fois suivante, je décidai de distribuer toutes mes notes dès le début du semestre. Le résultat, que je n'avais pas prévu, fut que de nombreux étudiants regrettaient, dans leur questionnaire de fin de semestre, que j'enseigne exactement ce qui était écrit dans mes polycopiés!

Quelle ingratitude! D'abord perturbé par ce manque de reconnaissance, j'ai depuis révisé ma position. Les étudiants avaient raison sur un point: je faisais effectivement cours à partir de mes notes. Et des analyses ont montré que mes étudiants tiraient un faible bénéfice à m'écouter faire cours s'ils avaient lu mes notes avant. Si j'avais eu à faire cours sur Shakespeare plutôt qu'en physique, je n'aurais certainement pas consacré des heures à lire des pièces de théâtre à mes étudiants. Je leur aurais plutôt demandé de lire les œuvres avant de venir en classe et utilisé les heures de cours à discuter des pièces avec eux pour développer leurs connaissances et leur analyse critique sur Shakespeare.

Au cours des années qui suivirent ma prise de conscience décrite au chapitre 1, j'ai tenté de nouvelles approches pour enseigner la physique. Je me suis plus particulièrement intéressé aux méthodes centrées sur la compréhension des concepts sous-jacents, sans que soit négligée l'aptitude des étudiants à résoudre des problèmes. C'est ainsi que j'ai élaboré la méthode *Peer Instruction*, une méthode efficace pour enseigner les concepts de base en physique et rendre les étudiants plus performants sur les problèmes conventionnels. En outre, cette nouvelle approche est à la fois plus gratifiante et elle facilite aussi l'enseignement.

Cette méthode fait encore appel au manuel et aux cours, mais selon un usage différent par rapport à l'enseignement conventionnel. Tout d'abord, les parties du livre à lire avant les cours permettent de présenter le domaine étudié. Ensuite, le cours permet de développer les notions, de souligner les difficultés, d'approfondir les choses, de gagner de la confiance, de traiter d'autres exemples. Pour finir, le livre sert de référence et de guide.

Les questions conceptuelles (*ConcepTests*)

Les principaux objectifs de la méthode *Peer Instruction* sont de mettre à profit les échanges entre étudiants durant les cours et de focaliser leur attention sur les concepts de base. Plutôt que de détailler ce qu'il y a dans le livre ou les notes, les cours consistent en de courtes présenta-

tions portant sur les points clé, chacune étant suivie de brèves *questions conceptuelles* portant sur le sujet traité et appelées *ConcepTest* en anglais. Les étudiants doivent d'abord y répondre en temps limité, puis on leur demande de discuter ensemble de leurs réponses. Cette façon de procéder (a) oblige les étudiants à réfléchir aux arguments qui leur sont présentés, et (b) leur fournit (ainsi qu'au professeur) un moyen d'évaluer leur compréhension du concept.

Chaque *question conceptuelle* obéit au schéma général suivant :

1. Question posée 1 minute
2. Temps de réflexion pour les étudiants 1 minute
3. Les étudiants rédigent individuellement leurs réponses (facultatif)
4. Les étudiants essaient de convaincre leurs voisins (instruction par ses pairs) 1 à 2 minutes
5. Les étudiants rédigent leurs nouvelles réponses (facultatif)
6. Retour de l'information au professeur : bilan des réponses
7. Explication de la bonne réponse ~ 2 minutes

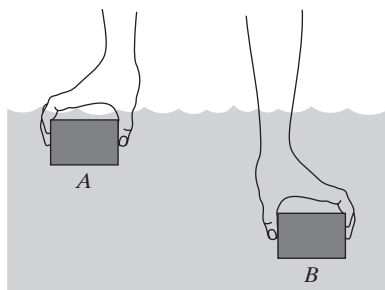
Si la plupart des étudiants ont trouvé la bonne réponse à cette question conceptuelle, on peut passer à la notion suivante. Si le pourcentage de réponses correctes est trop faible (moins de 30%), je ralentis, explique de façon plus détaillée cette notion, et pose une nouvelle *question conceptuelle* sur cette notion. Avec cette approche où l'on explique autant que nécessaire une notion, on évite qu'un fossé ne se creuse entre ce que les étudiants comprennent et ce qu'attend le professeur – un fossé qui, une fois formé, ne peut que s'élargir avec le temps jusqu'à ce que toute la classe soit perdue.

Prenons un exemple : la poussée d'Archimède. Je fais d'abord cours sur cette notion pendant 7 à 10 minutes – en insistant sur les idées et les concepts sous-jacents tout en évitant les équations et les mathématiques. On peut agrémenter cette leçon d'une expérience (par exemple avec un ludion, ou « plongeur cartésien »). Puis, avant de passer à la notion suivante (le principe de Pascal), j'utilise le rétroprojecteur pour montrer la question présentée à la figure 2.1.

Je lis la question aux étudiants afin de m'assurer qu'il n'y a pas de malentendu. Ensuite, je leur signale qu'ils ont une minute pour

FLOTTABILITÉ

Soit deux solides identiques totalement immergés. Le solide A est juste en dessous de la surface de l'eau, tandis que le solide B est à une plus grande profondeur. La force nécessaire pour maintenir le solide B immobile est



1. plus grande que
2. identique à
3. plus petite que

la force nécessaire pour maintenir le solide A immobile.

Fig. 2.1 Question conceptuelle portant sur la poussée d'Archimède. Pour un fluide incompressible comme l'eau, c'est la deuxième réponse qui est juste.

choisir une réponse – plus de temps leur permettrait de se replonger dans les équations plutôt que de réfléchir. Puisque je veux que chaque étudiant réponde individuellement, je ne les autorise pas à discuter entre eux et m'assure que le silence règne dans la classe. Au bout d'environ une minute, je consigne leurs réponses et leur demande d'essayer de convaincre leur voisin que leur réponse est la bonne. Je participe toujours aux discussions qui suivent en me joignant à un petit groupe d'étudiants. En procédant ainsi, je peux évaluer les erreurs faites et voir comment les étudiants qui ont la bonne réponse s'y prennent pour la justifier. Au bout d'une à deux minutes, je leur demande de reconsidérer leurs réponses. Je retourne alors vers le rétroprojecteur et fais l'inventaire des réponses à mains levées. Les résultats pour la question de la figure 2.1 sont présentés à la figure 2.2. Bien entendu, je ne disposais pas en classe de l'analyse des résultats tels qu'ils apparaissent à la

figure 2.2, mais le sondage à mains levées juste après la discussion entre voisins révélait une large majorité de réponses justes. Je ne prends dans ces cas-là que quelques minutes pour expliquer la bonne réponse avant de passer à la notion suivante.

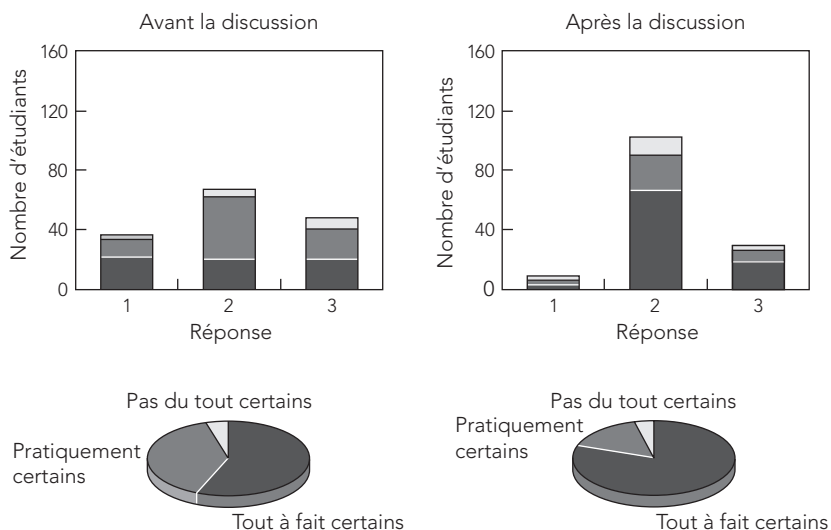


Fig. 2.2 Analyse des réponses à la question sur la flottabilité de la figure 2.1. La bonne réponse est la deuxième. Les diagrammes en secteurs (« en camembert ») présentent le degré de certitude des étudiants vis-à-vis de leurs réponses, que l'on retrouve dans les histogrammes (diagrammes « en bâtons »), les zones de même teinte présentant les mêmes degrés de certitude.

Les discussions entre voisins augmentent systématiquement le pourcentage de bonnes réponses et le degré de certitude des étudiants. La progression est en général plus importante lorsque le pourcentage initial de bonnes réponses est d'environ 50%. Si ce pourcentage est beaucoup plus grand, seule une légère progression est encore possible; s'il est beaucoup plus faible, il n'y a pas assez d'étudiants pour convaincre les autres de la bonne réponse. C'est ce qu'illustre la figure 2.3, où l'on voit la progression des bonnes réponses et du degré de certitude des étudiants pour toutes les questions proposées sur un semestre. Notons que tous les points se trouvent au-dessus de la droite de pente 1 (pour les points situés sous cette droite, le pourcentage de

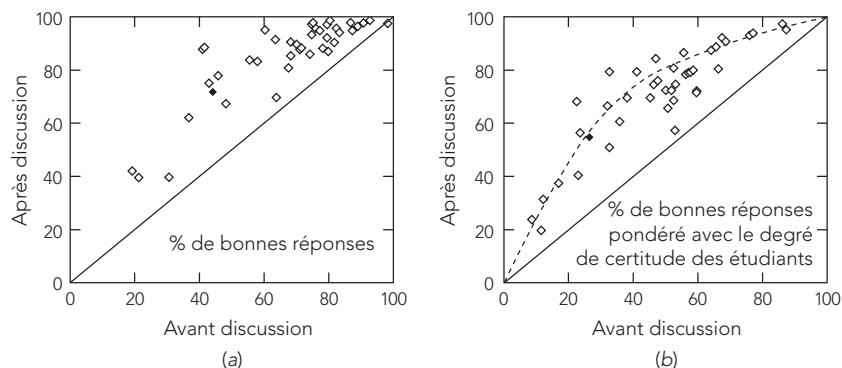


Fig. 2.3 (a) Pourcentage de bonnes réponses après discussion en fonction du pourcentage de bonnes réponses avant discussion et (b) la même chose pondérée avec le degré de certitude des étudiants. Chaque point correspond à une question conceptuelle. Le point noir correspond à la question sur la flottabilité de la figure 2.1.

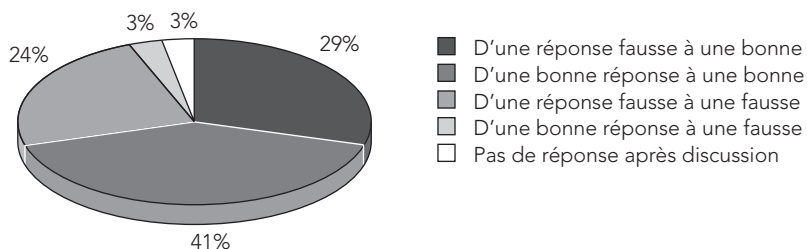


Fig. 2.4 Évolution des réponses après discussion entre voisins pour la question sur la flottabilité de la figure 2.1.

bonnes réponses après discussion diminuerait). Je ne garde, pour les semestres suivants, que les questions dont les pourcentages initiaux de bonnes réponses sont situés entre 40 et 80% et je modifie ou élimine les questions dont les pourcentages ne se trouvent pas dans cet intervalle.

La figure 2.4 montre comment les étudiants modifient leurs réponses à la question sur la flottabilité posée à la figure 2.1. Au final, 29% des étudiants ont bien corrigé leur réponse initialement fausse, tandis que seulement 3% passent d'une bonne réponse à une fausse. La figure 2.3 montre que le pourcentage de bonnes réponses augmente toujours et ne diminue jamais. Cela s'explique par le fait qu'il est beaucoup plus