

Enseigner l'histoire de la physique en licence : pourquoi, comment ?

par Jean SIVARDIÈRE
CEA/Département de Recherche Fondamentale
sur la Matière Condensée/SPSMS
Centre d'Études Nucléaires de Grenoble - 38054 Grenoble Cedex 9

RÉSUMÉ

Les connaissances des physiciens - étudiants, chercheurs et même enseignants - sur l'histoire de leur discipline sont très lacunaires. Après avoir rappelé l'utilité de l'histoire des sciences, nous proposons d'introduire dans le cursus universitaire, de préférence en licence, un cours d'histoire de la physique aux objectifs modestes, plus axé sur la physique que sur l'histoire, donnant quelques points de repère et permettant une meilleure compréhension des cours thématiques traditionnels.

QUELQUES TESTS RÉVÉLATEURS

Nous avons testé les connaissances de divers publics - étudiants de licence, étudiants de DESS, chercheurs et enseignants-chercheurs - sur l'histoire de la physique. Les questions posées étaient de deux types.

1 - Citez des grands physiciens ayant travaillé dans les domaines suivants : mécanique classique, mécanique quantique, optique, électromagnétisme, thermodynamique, physique nucléaire.

2 - Qui a découvert, et vers quelle année, le neutron, la planète Jupiter, la supraconductivité, le spin de l'électron, ... ?

Quand a-t-on obtenu pour la première fois l'ordre de grandeur du rayon de la Terre, du rayon des atomes, de la vitesse de la lumière, du nombre d'Avogadro, ... ?

Qui a énoncé, et vers quelle année, l'hypothèse atomique, le deuxième principe de la thermodynamique, ... ?

Quand a-t-on inventé le télescope, le laser, ... ?

Analysons tout d'abord les réponses d'un groupe de vingt-deux étudiants en licence de physique. En réponse à la première question :

- Aucun étudiant ne cite Archimède, Euler, Lagrange, Hamilton ou Poincaré ; Pauli ou Dirac ; Fresnel ; Oersted, Hertz ou Lorentz ; Fourier ou Gibbs.
- Huygens, Young, Rutherford, Schrödinger, Heisenberg et Fermi sont cités une seule fois.
- Joule, Carnot, Ampère, Mayer, Kelvin ainsi que «Biot et Savart» le sont deux fois.
- Seuls sont cités plus de deux fois : Galilée (14), Descartes (5), Newton (21), Gauss (3), Laplace (3), Faraday (4), Clausius (3), Clapeyron (4), Maxwell (14), Boltzmann (4), Planck (7), Einstein (13), Bohr (7) et De Broglie (6). Aucune relation claire n'est faite entre l'histoire de la physique et les lois ou théorèmes (Mariotte, Lenz, ...) énoncés dans les cours thématiques.

Les autres questions posées, plus ponctuelles, restent le plus souvent sans réponse. Un seul étudiant sait que l'électron a été découvert par J.-J. Thomson vers 1900 ; deux savent que les rayons X ont été découverts à la même époque mais ne peuvent citer Roentgen. Certaines «connaissances» sont très approximatives : Copernic aurait vécu au XVIII^e siècle, Michelson et Morley auraient inventé la mécanique quantique, Millikan mesuré la constante de Planck, Madame Curry (sic) découvre l'énergie nucléaire et Planck le spin de l'électron. Le principe d'exclusion est attribué à Pauli par sept étudiants, mais sans indication de date. Seules sont connues les dates approchées de la mise au point de la bombe atomique (12 réponses), du laser (7), et du lancement du premier satellite artificiel de la Terre (9). A l'évidence, aucun étudiant du groupe interrogé ne possède une vision d'ensemble, même très sommaire, de l'histoire de la physique : seul Newton fait l'unanimité.

Les réponses d'un groupe de dix-huit étudiants en DESS à un questionnaire analogue sur la physique, les mathématiques et la chimie confirment ce constat. Six physiciens sont cités en moyenne. Einstein l'est 17 fois, Galilée 12, Newton 10, Archimède 9, Maxwell 6, Descartes et Copernic 5, Ampère et Fourier 4. Six étudiants seulement peuvent citer au moins cinq physiciens, un seul peut en citer une dizaine. Les réponses fantaisistes abondent : les astéroïdes sont connus «depuis toujours», les ondes électromagnétiques ont été découvertes en 1950, la constante de Newton a été mesurée au XVI^e siècle et la vitesse de la lumière en 1940, c'est l'expérience des jumeaux qui est à la base de la théorie relativiste, Einstein a inventé les supraconducteurs et mesuré la

vitesse de la lumière, le laser et le neutron ont été découverts au XVIII^e siècle, Curie a trouvé le neutrino en 1900. Aucun étudiant ne sait quand a été mesurée la vitesse du son, un seul connaît l'expérience de Foucault relative à la vitesse de la lumière, quatre seulement peuvent citer au moins une expérience à l'origine de la mécanique quantique.

Les réponses exactes ou même approximatives à propos des mathématiques sont rarissimes. Les mathématiciens grecs sont les mieux connus : Euclide (8 citations), Pythagore (6), Thalès (4) et même... Aristophane (1). Descartes est cité 4 fois ; Fourier et Laplace 3 ; Pascal 2 ; Fermat, d'Alembert, Euler, Gauss, Monge, Cauchy et Galois 1. Quatre étudiants seulement situent l'invention des dérivées vers 1800, aucun ne cite Newton ou Leibniz. Les erreurs grossières sont nombreuses : les logarithmes et les dérivées auraient été découverts dans l'antiquité, les polyèdres réguliers au Moyen Age, les coniques au XVI^e siècle, les nombres complexes à la fin du XIX^e siècle ou même plus tardivement. Quant à l'histoire de la chimie, elle est totalement ignorée, à l'exception de la découverte du tableau périodique des éléments que cinq étudiants sur dix-huit datent de la période 1860-1880, trois d'entre eux sachant l'attribuer à Mendeleïev.

Le test a également été proposé à une trentaine de chercheurs. Ces derniers peuvent citer des noms de grands physiciens et connaissent assez bien l'histoire récente de la physique (depuis 1930), mais leurs lacunes dans le domaine de la physique classique restent importantes si l'on met de côté les quelques réponses émanant manifestement de chercheurs cultivés. Ainsi l'électrolyse de l'eau est attribuée à Coulomb ou à Lavoisier, la découverte de l'hélium à K. Onnes et le deuxième principe de la thermodynamique à Boltzmann. Tel chercheur sait que le neutrino a été mis en évidence vers 1950 mais ne peut dire à quelle époque l'électron a été identifié. D'une manière générale, le chercheur pense que les découvertes importantes sont plus récentes qu'elles ne l'ont été : typiquement, les cristaux liquides auraient été découverts vers 1950 alors qu'ils l'ont été avant 1900.

UNE LACUNE À COMBLER

Les résultats de notre modeste enquête n'ont évidemment aucune prétention à la rigueur statistique. Ils mettent cependant en évidence, de manière difficilement contestable, que l'histoire de la physique est largement ignorée des physiciens. Un tel constat ne doit pas surprendre : Alexandre Koyré le déplorait déjà en 1957, l'histoire de la

physique est un peu absente de l'enseignement scientifique traditionnel. Celui-ci consiste pour l'essentiel en une juxtaposition de cours thématiques - mécanique classique, électromagnétisme, thermodynamique, physique des solides, ... - visant à communiquer un grand nombre de connaissances en peu de temps, et adoptant donc un point de vue moderne et une présentation logique. Ce découpage offre peu de vues d'ensemble structurantes aussi bien scientifiques qu'historiques. La situation commence fort heureusement à évoluer dans diverses universités, dès le DEUG (voir le compte-rendu présenté par M. CAVEING au congrès international d'histoire des sciences à Saragosse en 1993), mais elle aura eu des conséquences regrettables [1].

Pourquoi donc apprendre l'histoire de la physique ?

- l'acquisition de points de repère historiques facilite la compréhension et la mémorisation des phénomènes et des théories physiques par les étudiants, elle peut les aider à organiser les connaissances «accumulées» en un ensemble cohérent ;
- l'approche historique permet de montrer que la science n'est pas une construction statique [2] [3], qu'elle se développe dans le temps (non de manière linéaire, cumulative et logique, comme on le croit trop souvent, mais à travers des erreurs [4], des hésitations, des doutes, des polémiques et parfois des retours en arrière) ;
- l'approche historique permet de comprendre selon quelles méthodes s'élabore la connaissance scientifique, comment et pourquoi évoluent les conceptions théoriques et les recherches et méthodes expérimentales ; elle permet de détruire le mythe de l'inductivisme, la vérité n'émergeant pas automatiquement du fait expérimental ;
- attirer l'attention sur les relations de la physique avec les mathématiques et les autres sciences expérimentales, les techniques, l'état de la société et le mouvement des idées philosophiques présente un intérêt scientifique et culturel évident [5] ;
- enfin, comme l'a souligné de Broglie en particulier, l'histoire de la science est un excellent moyen d'enseigner la science. Des aperçus historiques plus nombreux permettraient d'échapper aux inconvénients d'un enseignement trop déductif, trop logique, de stimuler l'intérêt des étudiants pour la physique [6], de les faire réfléchir davantage et de leur donner le goût de la recherche. Einstein disait même que ses découvertes devaient beaucoup à l'étude de l'histoire de la physique, qu'il connaissait très bien.

L'histoire de la physique doit donc devenir un élément à part entière de la formation scientifique universitaire [7].

Bien des enseignants n'auront pas attendu la publication de ces réflexions, à vrai dire peu originales, pour réagir et donner des références historiques dans leur enseignement, pour introduire une démarche historique suscitant la réflexion des étudiants (voir par exemple l'expérience réalisée en 1833 par Faraday sur la conduction du courant par l'eau et la glace [8], ou l'émergence des idées de Maxwell à partir de celles de Faraday [9]), voire même pour reproduire des expériences anciennes [10]. Outre que cette démarche est parfois impossible (il faudrait introduire les quaternions avant les vecteurs !), il semble qu'un **cours autonome sur l'histoire de la physique** soit nécessaire pour offrir une vue d'ensemble du sujet. Un tel cours, dont nous allons proposer le contenu possible, semble absolument indispensable pour les futurs enseignants du secondaire et du supérieur. Il peut être présenté en début de licence, c'est-à-dire assez tardivement pour que l'étudiant puisse s'appuyer sur des connaissances expérimentales et théoriques suffisantes et assez tôt pour qu'il puisse en bénéficier pendant une partie significative de son cursus universitaire.

QUELLE HISTOIRE ENSEIGNER ?

Bien entendu, il ne s'agit pas de présenter une histoire événementielle juxtaposant les «vies édifiantes» de quelques «grands savants», ou de faire preuve d'érudition en accumulant noms, dates et lieux (souvent erronés) de naissance ou de découvertes, citations et anecdotes plus ou moins authentiques (la baignoire d'Archimède, la pomme de Newton). Par ailleurs un enseignant physicien n'est, en règle générale, ni historien, ni épistémologue, ni sociologue, ni philosophe : c'est le cas de l'auteur de cet article. Il est donc raisonnable de se fixer des objectifs modestes mais réalistes et de s'en tenir, au moins dans un premier temps, à une chronologie commentée de l'évolution des idées scientifiques (voir par exemple celle que propose la référence [11]) : l'expérience m'a montré qu'une telle approche suffit pour «accrocher» les étudiants.

Le plan du cours est le suivant :

- Présentation rapide des grandes périodes de l'histoire humaine : Antiquité, Moyen Age, Renaissance, ... avec quelques repères significatifs : 1492, Louis XIV, 1789...,

- Présentation synthétique des grandes périodes du développement de la physique :
 - des origines à 1600 environ,
 - de 1600 à 1800 environ : la naissance et l'épanouissement de la mécanique,
 - de 1880 à 1887 (année de la mise en évidence des ondes électromagnétiques et de la découverte de l'effet photoélectrique par Hertz [12]) : l'âge d'or de la physique classique,
 - de 1887 à 1930 environ : la révolution relativiste et quantique,
 - de 1930 à nos jours.
- Pour chaque grande période, exposé sur l'histoire de chaque discipline en insistant sur celles qui connaissent les évolutions dominantes : mécanique de Galilée à Laplace ; électromagnétisme et thermodynamique au XIX^e siècle ; physique de l'atome de la fin du XIX^e jusque vers 1930 ; électrodynamique quantique, physique du noyau et des particules, physique des solides, astrophysique et systèmes coopératifs depuis 1930.
- Il est utile de donner également une vue d'ensemble de l'histoire des mathématiques, de l'astronomie, de la chimie, de l'astrophysique et de la géophysique, et de comparer les degrés de développement des différentes sciences à diverses périodes historiques. L'histoire des techniques doit compléter l'exposé. Enfin des tableaux synoptiques sont utiles [13].

L'étudiant doit, à travers ce cours, percevoir les grandes étapes de chaque discipline et de la physique dans son ensemble et non accumuler des connaissances disparates. L'histoire de la thermodynamique macroscopique, par exemple, peut se réduire à quelques faits marquants :

- naissance de la thermométrie au XVII^e siècle (Réaumur),
- distinction entre température et chaleur (Black 1760),
- élimination de la notion de fluide calorique (Davy et Thompson, 1794),
- étude de la propagation de la chaleur (Fourier, 1811) [14],
- équivalence chaleur-travail et conservation de l'énergie (Joule, Mayer, 1848),
- mise en évidence progressive de la notion d'entropie (Carnot, Helmholtz, Clausius, Kelvin),

- applications à l'étude des systèmes chimiques (Van't Hoff, Gibbs, Duhem, Le Chatelier),
- énoncé du troisième principe (Nernst 1906, Planck),
- axiomatisation de la thermodynamique (Caratheodory, Tisza) [15],
- étude des phénomènes irréversibles (Onsager, Prigogine).

Le cours vise donc davantage à enseigner de la physique que de l'histoire, et laisse de côté la plupart des aspects biographiques : il permet de discuter la signification de concepts et de principes souvent présentés trop rapidement dans les cours traditionnels au profit des applications, et de présenter une vue d'ensemble de l'évolution des idées dans chaque discipline. Il fait systématiquement référence aux cours thématiques suivis au DEUG par les étudiants. La principale difficulté consiste à éviter de réécrire l'histoire de la physique de manière logique, linéaire, en fonction des connaissances acquises ultérieurement, et à ne pas la simplifier de manière trompeuse, en oubliant le contexte scientifique, philosophique ou social : Boyle n'a pas introduit la notion d'élément chimique ; l'entropie n'a pas été découverte par Carnot ; les opposants à la théorie atomique comme Dumas n'étaient pas des esprits archaïques et avaient quelques arguments ; Einstein n'a pas développé la théorie de la relativité restreinte pour expliquer les résultats négatifs de l'expérience de Michelson et Morley [16].

Le cours proposé peut servir à enseigner la physique, en discutant par exemple les explications contradictoires des lois de Snell sur la réfraction données par Descartes, Fermat et Huygens ; la mesure de la vitesse de la lumière par Roemer et Huygens (il s'agissait davantage, à l'époque, de savoir si cette vitesse était finie ou non, que de connaître sa valeur) ; l'interprétation microscopique de la loi de Boyle-Mariotte avancée dès 1738 par Daniel Bernoulli ; le modèle de Young-Laplace permettant d'apprécier la taille des molécules ou encore le modèle atomique de Thomson [17].

Le cours est par ailleurs l'occasion de mettre en évidence quelques aspects importants de l'évolution de la physique :

- la continuité des efforts de recherche et des découvertes (même Copernic, Newton, Einstein et Lavoisier [18] ont eu des précurseurs),
- l'interaction entre études expérimentales (résultats d'études systématiques, découvertes accidentelles et expériences cruciales) et innovations théoriques,

- l'interaction entre les diverses disciplines de la physique (la thermodynamique et l'électromagnétisme à propos du rayonnement du corps noir),
- le rôle des modèles (les modèles cristallographiques de Kepler à Barlow, l'éther, l'atome de Thomson), des idées fausses [4], des expériences de pensée (Galilée, Einstein, Heisenberg), des paradoxes [19],
- l'unification progressive de la physique : unification des disciplines (électromagnétisme et optique, thermodynamique et physique statistique), des interactions fondamentales, des méthodes (principe de symétrie, lois de conservation, analyse dimensionnelle) ; émergence d'idées générales (non-linéarité, chaos, percolation),
- les vitesses de développement très différentes des différentes sciences (la géométrie naît et s'épanouit dès l'antiquité grecque ; la physique se constitue sur des bases sûres vers 1600 avec Galilée et Kepler, la chimie seulement pendant la deuxième moitié du XVIII^e siècle),
- l'interaction de la physique avec les autres sciences, en particulier les mathématiques (la théorie des groupes et la cristallographie), l'astronomie et la chimie (l'analyse spectrale et la découverte de nouveaux éléments, la théorie cinétique des gaz et l'hypothèse atomique), et avec les techniques expérimentales et industrielles.

PARTICIPATION DES ÉTUDIANTS ET CONTRÔLE DES CONNAISSANCES

Lectures

On peut suggérer aux étudiants des livres sur l'histoire de la physique (références [20] à [28]), ainsi que les articles historiques publiés par *La Recherche*, *Pour La Science*, *Review of Modern Physics*, *American Journal of Physics*, *The Physics Teacher*, *European Journal of Physics*, *Education in Physics*, *Journal of Chemical Education*, le bulletin du CUIDE, le Bulletin de l'Union des Physiciens, les Cahiers de Science et Vie, les Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences [29].

Lien avec les cours thématiques

Il est intéressant de faire rechercher dans les cours thématiques les citations (expériences, lois, formules, théorèmes) de certains grands physiciens, par exemple Euler (angles d'Euler, formule d'Euler pour les nombres complexes, théorème d'Euler sur les rotations, force d'inertie d'Euler, équation du fluide parfait en mécanique des fluides, ...), Gauss (courbure de Gauss d'une surface, théorème de Gauss en électrostatique).

que, positions de Gauss d'un dipôle, ...) ou Laplace (loi d'attraction des courants électriques, surpression à l'intérieur d'une bulle de savon, stabilité du système solaire, ...). On peut aussi faire relire un cours thématique et demander de le commenter historiquement.

Études bibliographiques

Des études bibliographiques peuvent être proposées sur des thèmes particuliers : l'œuvre d'un grand mathématicien, physicien ou chimiste, ayant travaillé sur des sujets variés (Huygens, Euler, Laplace, Helmholtz, Curie, Landau) ; l'origine d'un formalisme [30] ; l'histoire d'une technique expérimentale (la spectroscopie) ; une expérience célèbre de la physique (Foucault, Hertz, Michelson et Morley, Oetvös, Geiger et Marsden, Stern et Gerlach, Wu [31]) ; une série d'expériences (les observations ou expériences optiques ou mécaniques - Bradley, Foucault, ... - mettant en évidence la rotation et la translation de la terre) ; un modèle (le gaz de Van der Waals, l'éther, le big-bang) ; les confirmations d'une théorie (relativité générale) ; les modèles successifs utilisés pour expliquer un même phénomène (l'avance du périhélie de Mercure, la formation de la Lune, les propriétés électroniques des métaux [32]) ; les origines d'une discipline [18] ; l'évolution d'une discipline (le calcul des probabilités, la cristallographie, la mécanique des fluides [33]), d'une théorie (la théorie cinétique des gaz, la stéréochimie) ou d'un concept (la pression, la température, la symétrie [34], le photon [35], la topologie, la liaison chimique) ; l'émergence d'un principe (Carnot, Nernst, le principe de moindre action) ; l'étude d'un phénomène (l'induction électromagnétique [36], le mouvement brownien, le rayonnement du corps noir) ; la découverte des éléments, des particules élémentaires, des transitions de phases ; un épisode (la mécanique de Bohr-Sommerfeld-Wilson) ; la mesure d'une constante universelle (la vitesse de la lumière, le nombre d'Avogadro) ; l'histoire des systèmes d'unités [37] ; une controverse scientifique (la nature du feu, de la lumière, de l'électricité ou de la chaleur) ; l'influence des physiciens sur les chimistes au XIX^e siècle ; la «cinquième force».

Contrôle des connaissances

Des questions très variées peuvent être posées pour tester les connaissances et la culture acquises, par exemple : décrire l'histoire d'une discipline (la géométrie, la thermodynamique, la nature de la lumière, la théorie atomique [38], l'astrophysique [39]) ou l'œuvre d'un grand mathématicien, physicien ou chimiste (Cauchy, Gibbs, Mendeleïev [40]) ; décrire la révolution scientifique du XVII^e siècle ; citer les

bases expérimentales d'une théorie (théorie ondulatoire de la lumière, relativité ou mécanique quantique) ; citer des expériences ayant suggéré une relation entre électromagnétisme et optique (effet Faraday, expérience de Kohlrausch et Weber) ; décrire les étapes d'une découverte (l'atome, le neutron, le photon, le système solaire [41], l'univers) et de la mise en évidence de l'électron, constituant universel de la matière ; citer des découvertes accidentelles (Uranus, le galvanisme, la polarisation de la lumière, les rayons X, la radioactivité, la supraconductivité) ou résultant d'explorations systématiques (l'hélium, les cristaux liquides, les quasars), des expériences cruciales testant un modèle ou une théorie (la mesure de la vitesse de la lumière dans l'eau par Foucault, l'expérience de Michelson et Morley, l'expérience de Geiger et Marsden, l'expérience de Madame Wu confirmant la non-conservation de la parité), des phénomènes ou objets prévus par une théorie classique du XIX^e siècle (le mouvement du pendule de Foucault, Neptune et Pluton, les ondes hertziennes, le rendement maximum d'une machine, la loi de distribution des vitesses dans un gaz, l'effet thermoélectrique, l'effet piezoélectrique inverse), puis au XX^e siècle (les antiparticules, les bosons faibles, la déviation des photons par le Soleil, le rayonnement thermique universel à 3 K dans l'univers) ; citer les premières lois quantitatives (chute des corps, réfraction, Boyle-Mariotte, hydrostatique) ; citer les dix physiciens ayant joué le rôle le plus important dans l'évolution de la physique ; citer dix grands physiciens ayant travaillé entre 1800 et 1850, ou entre 1900 et 1930 ; citer les grandes expériences effectuées au cours du XIX^e siècle [42] ; citer des concepts mathématiques inventés par des physiciens (les tenseurs, les distributions) et des outils mathématiques exploités par des physiciens (les coniques, la géométrie de Riemann) ; citer des progrès techniques ayant entraîné de grandes découvertes scientifiques (la lunette de Galilée, la spectroscopie, les techniques du vide et du froid) ; citer les énigmes de la physique en 1880 (nature de l'éther, mouvement de Mercure, validité de l'hypothèse atomique) ; comparer les degrés d'évolution des mathématiques, de la physique et de la chimie en 1600, en 1800, en 1880 et expliquer les différences observées.

Le contrôle des connaissances - complété par une étude bibliographique notée - peut s'effectuer sous la forme suivante : une épreuve d'une heure sans documents, combinant une «dissertation» sur l'une des questions générales proposées ci-dessus et une dizaine de questions plus ponctuelles (qui a découvert, et vers quelle époque, la polarisation de la lumière, la planète Neptune, le spin de l'électron, ...). Les résultats sont contrastés : certains étudiants réussissent à acquérir une culture

historique satisfaisante, mais d'autres arrivent plus difficilement à assimiler l'histoire des sciences, peut-être par manque de connaissances historiques générales.

CONCLUSION

L'enseignement de l'histoire de la physique est d'abord un excellent outil pédagogique. Le cours proposé, qui exige une dizaine d'heures d'enseignement dans une version concise, se suffit à lui-même. Il est bien accueilli par les étudiants pour sa nouveauté, et apprécié parce qu'il les aide à mettre de l'ordre dans leurs connaissances et à acquérir de solides points de repère sur l'évolution des idées en physique. Il peut être aussi utilisé comme un point de départ nécessaire pour approfondir l'épistémologie [43] à [46], et pour aborder la sociologie et la philosophie des sciences physiques [47] [48].

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R.-J. SEEGER - «On the teaching of the history of physics», Am. J. Phys. 32, 619 (1964).
- [2] J.-C. COMPAIN - «Histoire des sciences : des révolutions oubliées», B.U.P. n° 725, 747 (juin 1990).
- [3] B. BENSUADE-VINCENT - «Paul Langevin : plaidoyer pour l'histoire des sciences», La Recherche 139, 1474 (décembre 1982).
- [4] J.-M. LEVY-LEBLOND - «Éloge des théories fausses», Eur. J. Phys. 1, 248 (1980).
- [5] N. HULIN - «L'histoire des sciences dans l'enseignement de la physique», CUIDE n° 20, 1 (octobre 1981).
- [6] J. SIVARDIÈRE - «Comment améliorer l'image de marque de la physique auprès des étudiants ?», B.U.P. n° 729, 1419 (1990).
- [7] CODER - «Pour l'histoire des sciences et des techniques dans l'enseignement scientifique», La Vie des Sciences, Comptes-Rendus, série générale 2, 51 (1985). Voir aussi le dossier : l'histoire des sciences, Le Journal du CNRS n° 46 (octobre 1993).
- [8] E. CRAWFORD - «Using history to develop thinking», Physics Education 28, 205 (1993).
- [9] P.-M. HARMAN - «Maxwell and Faraday», Eur. J. Phys. 14, 148 (1993).

- [10] J. WEBB et R. BUSTIN - «Eratosthenes revisited», *The Physics Teacher* 26, 154 (novembre 1988). T.-B. GREENSLADE, «Joule's constant revisited», *The Physics Teacher* 17, 530 (novembre 1979).
- [11] F.-K. RICHTMEYER, E.-H. KENNARD et T. LAURITSEN - *Introduction to Modern Physics*, Mc Graw Hill, New-York (1955).
- [12] J.-L. SPRADLEY - «Hertz and the discovery of radio waves and the photoelectric effect», *The Physics Teacher* 26, 492 (novembre 1988).
- [13] W. WILLIAMSON - «Chronology of historical, scientific and technological events», *The Physics Teacher* 15, 108 (février 1977).
- [14] J.-B. ROBERT - «La théorie analytique de la chaleur de Joseph Fourier», *Bulletin de la Société Française de Physique* (décembre 1993).
- [15] P.-T. LANDSBERG - «Remarks about thermodynamics», *Am. J. Phys.* 51, 842 (1983).
- [16] S.-G. BRUSH - «The use of history», *The Physics Teacher* 7, 271 (mai 1969) et 16, 424 (octobre 1978).
E.-B. SPARBERG, *Misinterpretation of the theories of light*, *Am. J. Phys.* 34, 377 (1966).
A. WROBLEVSKY, *De Mora Luminis*, *Am. J. Phys.* 53, 620 (1985).
- [17] F.-L. FRIEDMAN et L. SARTORI - *The Classical Atom*, Addison-Wesley, Reading, Mass. (1965).
- [18] A. LAUGIER - «De l'alchimie de l'antiquité à la chimie de Lavoisier», B.U.P. n° 756, 1095 (juillet 1993).
- [19] M. JAMMER - «Le paradoxe EPR», *La Recherche* 111, 510 (mai 1980).
- [20] R. MASSAIN - *Physique et physiciens et Chimie et chimistes*, Magnard, Paris (1950) et aussi J. ITARD et P. DEDRON, *Mathématiques et mathématiciens*, dans la même collection.
- [21] D. BOORSTIN - *Les découvreurs*, Seghers, Paris (1986).
- [22] E.-T. BELL - *Les Grands Mathématiciens*, Payot, Paris (1961).
- [23] J. DIEUDONNÉ - *Abrégé d'Histoire des Mathématiques*, Hermann, Paris (1978).
- [24] S.-J. INGLIS - *Physics, an ebb and flow of ideas*, John Wiley, New-York (1970).
- [25] G. HOLTON - *Introduction to concepts and theories in physical sciences*, Addison Wesley, Reading (1973).

- [26] R. LOCQUENEUX - *Histoire de la Physique*, Collection Que Sais-Je n° 421, Presses Universitaires de France (1987). Voir aussi les ouvrages très utiles sur l'histoire des mathématiques (M. BOLL), de l'astronomie (P. COUDERC) et de la chimie (B. VIDAL) publiés dans la même collection.
- [27] J. ROSMORDUC - *De Thalès à Einstein*, Études Vivantes, Paris (1979).
- [28] J.-P. MAURY - *Petite histoire de la physique*, Collection Références, Larousse (1992).
- [29] Pour une liste d'articles historiques parus dans le B.U.P. : voir les sommaires publiés dans les numéros 681, 67 (février 1986) et 739, 138 (décembre 1991). Voir aussi les bibliographies très riches rassemblées par J. ROSMORDUC, B.U.P. n° 653, 901 (avril 1986) et D. FAUQUE, B.U.P. n° 712, 422 (mars 1989).
- [30] A. LOUNIS - «Considérations historiques à propos des grandeurs vectorielles», B.U.P. n° 721, 205 (février 1990).
- [31] P. FORMAN - «The fall of parity», *The Physics Teacher* 20, 281 (mai 1982).
- [32] R. PEIRLS - «Early work on solids», *Rev. Mod. Phys.* 65, 251 (1993). L. HODDESON et coll., «Out of the crystal maze : chapters of the history of solid state physics», Oxford University Press (1992).
- [33] E. GUYON, J.-P. HULIN et L. PETIT - «Un enseignement de mécanique des fluides par des physiciens», B.U.P. n° 721, 185 (février 1990).
- [34] L. PASTEUR - *Recherches sur la dissymétrie moléculaire*, Collection Épistémè, Christian Bourgois, Paris (1986).
- [35] A. PAIS - «Einstein and the quantum theory», *Rev. Mod. Phys.* 51, 863 (1979).
- [36] S. DEVONS - «The search for magnetic induction», *The Physics Teacher* 16, 625 (décembre 1978).
- [37] R.-A. NELSON - «Foundations of the international system», *The Physics Teacher* 19, 596 (décembre 1981) ; L. KOWALSKI, «A short history of the SI units», *The Physics Teacher* 24, 97 (février 1986).
- [38] D.-P. MELLOR - *The Evolution of the Atomic Theory*, Elsevier, Amsterdam (1971).
- [39] R. OMNES - *L'univers et ses métamorphoses*, Hermann, Paris (1973).

- [40] B. BENS AUDE-VINCENT - «Mendeleïev : histoire d'une découverte», in M. SERRES, *Éléments d'histoire des sciences*, Bordas, Paris (1989).
- [41] N.-T. ROSEVEARE - *Mercury's perihelion from Le Verrier to Einstein*, Clarendon Press, Oxford (1982).
- [42] M.-H. SHAMOS - *Great experiments in physics*, Dover, New-York (1981).
- [43] R. THOM - «La méthode expérimentale, un mythe», *La Vie des Sciences*, *Comptes-Rendus*, série générale 2, 59 (1985) et A. ABRAGAM, «Théorie ou expérience, un débat archaïque», *ibid.* 2, 69 (1985).
- [44] B.-A. BRODY et N. CAPALDI - *Science : men, methods, goals*, Benjamin, New-York (1968).
- [45] P. THUILLIER - «Comment se constituent les théories scientifiques ?», *La Recherche* 13, 537 (juin 1971).
- [46] G. HOLTON - *L'imagination scientifique*, Gallimard (1981) et *L'invention scientifique*, Presses Universitaires de France, Paris (1982).
- [47] M. SERRES - *Éléments d'histoire des sciences*, Bordas, Paris (1989).
- [48] E. MARQUIT - «Philosophy of physics in general physics courses», *Am. J. Phys.* 46, 784 (1978).

Les ouvrages suivants m'ont été signalés par le rapporteur de cet article (on peut consulter ou acquérir les deux premiers au Centre de Recherches Historiques de la Cité des Sciences et de l'Industrie, à Paris).

- Proceedings : «*Science Education and the History of Physics, teacher training conference*», Munich 1986, edited by Poul Thomsen, Université d'Aarhus, Danemark.
- Actes : *Enseignement scientifique et histoire de la physique*, Paris-Orsay 1988, édités par Ch. Blondel (CSI) et P. Brouzeng (Orsay).
- F. AUDIGIER et P. FILLON - *Enseigner l'Histoire des Sciences et des Techniques, une approche pluridisciplinaire*, INRP (1991).
- M. SHORTLAND et A. WARWICK, *Teaching the History of Science*, Blackwell (1989).