

# Histoire et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ? \*

**Jean-Louis MARTINAND**

École Normale Supérieure de Cachan  
LIREST  
61, avenue du Président Wilson  
94235 Cachan Cedex

## **Résumé**

*Le but de ce "point de vue" est de réexaminer l'affirmation banale et confuse des liens entre histoire et didactique des sciences pour distinguer des thèmes précis de réflexion et de recherche : histoire de la pensée scientifique et étude des conceptions ; épistémologie appliquée et construction des contenus ; histoire des sciences dans l'enseignement : quelles conditions ? ; et enfin, histoire des sciences dans la formation des enseignants.*

**Mots clés :** *histoire des sciences, didactique des sciences, physique-chimie.*

## **Abstract**

*The aim of this "position paper" is to revisit the banal and confused assertion of the links between history of science and science education, and to distinguish accurate themes of reflection and research : history of scientific*

\* Ce "point de vue" est une version remaniée et abrégée d'un rapport présenté lors du congrès de la Société Française d'Histoire des Sciences et Techniques à Orsay (février 1992). Nous remercions les *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences* de Nantes, qui ont publié les interventions du Congrès, de nous autoriser à reprendre ici notre texte.

*thought and study of the learners' conceptions, "applied epistemology" and the design of curriculum contents, history of science in the curriculum : which conditions ? and lastly, history of science and teacher training.*

**Key words :** *history of science, didactics of science, physics-chemistry.*

L'affirmation des liens entre histoire des sciences et didactique des disciplines scientifiques est un lieu commun des chercheurs qui s'intéressent à l'éducation scientifique (ASTER, 1987). Mais cette affirmation générale doit être précisée : la recherche didactique est diverse, et l'histoire des sciences peut être sollicitée selon différentes perspectives ; et comme les historiens développent leurs travaux de manière autonome, leurs réponses à ces sollicitations sont plus ou moins immédiatement disponibles ou pertinentes.

Le présent "point de vue" ne prétend pas présenter une revue de question : il s'appuie sur les travaux menés en France et qui touchent directement ou indirectement aux rapports entre histoire et didactique de la physique et de la chimie, pour **distinguer des thèmes de réflexion et de recherche.**

Dans la recherche actuelle en didactique de la physique et de la chimie, on peut séparer deux grandes orientations :

– l'étude des conduites des élèves et étudiants (les "apprenants") avec des travaux empiriques sur les performances, les conceptions (représentations des phénomènes et appropriation des concepts), les raisonnements en résolution de problèmes ou explication, les stratégies (preuve expérimentale, recherche de solution) et les attitudes par rapport à la discipline. En France, les enseignants en activité ont malheureusement encore peu fait l'objet d'investigations analogues ;

– l'élucidation des décisions d'enseignement et l'étude de leur mise en œuvre, la conception, l'essai et l'évaluation de projets innovants, enfin l'amélioration des exercices, des moyens documentaires ou instrumentaux, et des modalités pédagogiques qui composent le curriculum.

La première orientation de la recherche didactique a conduit les chercheurs à s'intéresser pour comparaison aux conceptions dans l'histoire de la pensée scientifique.

La seconde orientation de la recherche didactique a, quant à elle, rencontré l'histoire des sciences sur trois registres différents. D'abord, et de manière générale, la construction des contenus d'enseignement fait appel à la culture historique et épistémologique des concepteurs. Ensuite, l'histoire des sciences elle-même peut être prise comme contenu enseigné dans le cadre de l'éducation scientifique. Enfin, l'histoire des sciences est souvent proposée dans la formation des enseignants.

Quatre thèmes peuvent être donc dégagés comme jalons vers une problématique plus fine :

1. histoire de la pensée scientifique et étude des conceptions,
2. "épistémologie appliquée" et construction des contenus,
3. histoire des sciences dans l'enseignement : quelles conditions ?
4. histoire des sciences dans la formation des enseignants.

## 1. HISTOIRE DE LA PENSÉE SCIENTIFIQUE ET ÉTUDE DES CONCEPTIONS

1.1. Les échanges d'idées sur ce thème sont déjà fort anciens dans la tradition française, depuis le livre pionnier de G. Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, en 1938. L'auteur y étudiait par l'histoire des "obstacles épistémologiques" qu'il avait d'abord rencontrés avec ses élèves comme professeur de physique. Plus près de nous, J. Piaget et R. Garcia (1983) ont publié avec *Psychogenèse et histoire des sciences* une synthèse des travaux effectués à Genève sur la connaissance du monde physique chez les enfants et les adolescents ; mais ils s'intéressent peu aux apprentissages scolaires.

Précédemment, F. Halbwachs (1974) avait tenté, avec *La pensée physique chez l'enfant et le savant*, une première comparaison entre aspect épistémologique, aspect psychogénétique et aspect historique, en s'appuyant lui aussi sur la masse des travaux de Genève.

1.2. Plus récemment, à mesure que des travaux empiriques se sont accumulés et que des résultats convergents ont été établis sur les conceptions des élèves et des étudiants (représentation des phénomènes, appropriation des concepts, raisonnements privilégiés), les comparaisons entre évolution historique et développement individuel se sont précisées et approfondies. L'hypothèse d'une analogie des itinéraires devient moins convaincante. C'est ce que montrent avec force E. Saltiel et L. Viennot (1984) en s'appuyant sur les recherches sur les raisonnements d'étudiants face à des questions de cinématique et de dynamique.

D'abord, elles récusent le parallélisme souvent mis en avant, entre la pensée d'Aristote ou du corpus aristotélicien et les idées communes des étudiants de lycée et d'université. Par contre, elles soulignent l'intérêt de la comparaison avec les théories de l'impetus (du XI<sup>e</sup> au XIV<sup>e</sup> siècle).

Mais, plus que sur la comparaison entre la pensée, le savoir et les démarches d'une époque et celle des étudiants, elles attirent l'attention sur l'intérêt de **mettre en évidence les obstacles persistants** dans les deux cas ; leur franchissement est un changement de conception. En raison des contextes matériels et culturels différents, ce qui s'observe aujourd'hui n'a pas de correspondant historique complet ; mais les questions posées par le statut du repos et du mouvement, l'idée d'espace absolu, les relations entre ce que

nous appelons aujourd'hui force, énergie cinétique et énergie potentielle, illustrent bien ces obstacles durables.

A condition de privilégier les obstacles persistants, rencontrés par une pensée adulte et réfléchie, ou par une activité instrumentée, obstacles bien mis à jour et interprétés par les recherches historiques, l'histoire fournit un terme de comparaison solide et suggère des hypothèses fructueuses pour l'étude des obstacles majeurs rencontrés par les étudiants.

Ce type de travaux est tout aussi utile et nécessaire dans les autres domaines de la physique et de la chimie. On peut signaler en France, les thèses de A. Benseghir (1989) sur l'électricité, de H. Stavridou (1990) et C. Solomoni-dou (1991) sur la chimie. La perspective d'étude comparative des "obstacles persistants" est bien féconde si l'on s'intéresse aux difficultés rencontrées par ceux qui cherchent à se représenter objectivement les phénomènes, ou à construire et manipuler des modèles.

1.3. Un dernier ensemble de travaux peut être rattaché à ce même thème : celui qui s'intéresse aux idées sur la science elle-même, les démarches, les attitudes qu'elle met en œuvre. J. Désautels et M. Larochelle (1989) ont étudié les points de vue d'adolescents sur le savoir scientifique et son fonctionnement. Ils ont mis en évidence la persistance des positions scientifiques.

## **2. "ÉPISTÉMOLOGIE APPLIQUÉE" ET CONSTRUCTION DES CONTENUS**

2.1. Pendant les vingt dernières années, une des tâches des didacticiens des sciences a été de concevoir de nouveaux contenus éducatifs pour l'école primaire et les débuts de l'enseignement secondaire.

En France, le passage des "leçons de choses" à une initiation scientifique a donné lieu à deux erreurs d'appréciation de la part des scientifiques :

- il suffit d'analyser la matière à enseigner et de la simplifier, alors qu'il s'agit de la construire ;
- le savoir enseigné correspond à une période historique du développement de la science, alors que les problèmes à étudier doivent être réélabo-rés.

Ainsi l'étude des circuits électriques à 6 ans, sans modèle du courant électrique, mais débouchant sur une notion tout à fait rigoureuse et même définitive de "circuit d'objets" comme condition nécessaire pour le fonctionnement du montage, ne correspond pas vraiment à une connaissance historiquement "situable" sous cette forme.

2.2. Il faut un travail proprement didactique pour choisir le “réfèrent empirique”, c’est-à-dire les manipulations et leurs descriptions, explorer les problèmes que posent les expériences ou les modélisations en fonction des raisonnements accessibles et des moyens de symbolisation disponibles pour représenter les phénomènes ou “calculer” des effets. Le but est de mettre au point l’ensemble des activités, des formulations et donc des objectifs possibles qui pourrait faire l’objet de l’enseignement.

Ce travail de **transposition de la pratique et de la pensée scientifiques en tâches et savoirs scolaires** et de légitimation des propositions peut être appelé “épistémologie appliquée” : il détourne les démarches et les concepts de l’épistémologie critique ou historique vers l’invention des possibles et le contrôle des significations. Dans les dernières années, ce type de recherche a été fait à propos de la modélisation en mécanique, en chimie et en physiologie au niveau de l’école primaire, du collège et du lycée (Équipe INRP/LIREST, 1992). Il débouche sur des propositions d’activités scolaires de modélisation et s’appuie sur un “schéma de la modélisation” général.

L’exemple du concept d’élément chimique, enseigné sans modèle moléculaire à des élèves de douze ans qui abordent quelques réactions chimiques, permet de bien voir tout l’intérêt de la connaissance historique qui suggère des idées et met en évidence les problèmes et les obstacles. Mais ni Mendéléïeff, qui est atomiste et donc traite le concept d’élément en relation avec ceux d’atome et de molécule (voir en particulier le rapport étroit qu’il affirme entre élément et “poids atomique” d’une part, corps pur et poids moléculaire d’autre part), ni Lavoisier qui n’a pas vraiment accédé à un concept d’élément acceptable aujourd’hui (la différence corps simple, élément n’est pas élucidée chez lui) ne fournissent de solution toute prête (J.-L. Martinand, 1986). Cependant, les considérations de Mendéléïeff sur la nature de la chimie, et la façon dont il construit son système périodique sur les propriétés relationnelles que les éléments entretiennent les uns avec les autres, ouvrent la voie vers une définition possible pour le niveau d’enseignement concerné : l’élément doit être conçu comme ce qui se conserve dans la réaction chimique.

2.3. Si l’étude des conceptions des élèves et des étudiants peut s’appuyer sur les travaux assez nombreux d’histoire des découvertes, la conception d’enseignements nouveaux a besoin de plus de données sur l’histoire de la diffusion des sciences, et en particulier sur l’histoire des disciplines scientifiques scolaires. Les relations entre recherches didactiques et recherches historiques devraient d’ailleurs être étroites à ce sujet : l’histoire a besoin de la théorisation didactique sur les principes directeurs des disciplines, et la conception didactique a besoin de prendre en compte les tendances dégagées par l’histoire, comme le montre S. Johsua (1985) à propos de l’enseignement de l’électrocinétique depuis 1900 en France, et surtout B. Belhoste (1990) dans son étude sur la réforme des programmes de sciences dans l’enseignement secondaire français en 1902.

En effet, certains aspects essentiels d'une discipline d'enseignement échappent à une histoire qui ne s'intéresse qu'aux concepts, ou au jeu des acteurs sociaux. Par exemple, dans l'enseignement français, depuis la réforme de 1902, une question est cruciale pour tout programme : la capacité de réaliser des travaux pratiques, d'organiser ceux-ci sur l'année. Or cette question est rarement présente dans les débats sur la structure conceptuelle ou la progression des leçons, et n'est donc pas prise en compte par les recherches historiques.

### 3. L'HISTOIRE DES SCIENCES DANS L'ENSEIGNEMENT : À QUELLES CONDITIONS ?

3.1. Il faut sans doute renoncer à recenser tous les écrits qui souhaitent que l'histoire des sciences vienne (ou revienne) dans l'enseignement : ils sont récurrents et apparemment peu efficaces.

Il se fait pourtant de l'histoire de la physique et de la chimie dans l'enseignement secondaire français. Ce sont surtout des activités historiques pour les élèves littéraires ; l'histoire est ici un moyen pour intéresser et faire réfléchir. Il n'y a pas de développement notable dans les autres classes.

Il y a aussi, dans le cadre de "Projets d'Action Éducative", des montages d'expositions, des comptes rendus de compilations sur un savant local... Dans la dernière période, quelques lycées ont redécouvert les richesses de leur vieux fonds de matériel scientifique et l'exposent (P. Le Fur, 1992).

Mais il convient de s'interroger : d'où viennent les résistances ? Pourquoi, depuis 1900, les promoteurs du "retour aux sources" ont-ils si peu de succès ?

3.2. Pour mieux comprendre les données du problème, il est bon de revenir avec N. Hulin (1984) sur l'histoire des sciences dans l'enseignement au XIX<sup>e</sup> siècle. Dans son article, N. Hulin rappelle les termes des deux grands débats sur les méthodes de l'éducation scientifique au siècle dernier en France :

– méthode historique ou méthode dogmatique ? La seconde domine peu à peu (dogmatique n'a pas ici de sens péjoratif), malgré des rappels comme celui des Instructions de 1854, à l'instigation du chimiste Dumas : *"quand vous exposez un sujet général, résumez-en l'histoire..."* ;

– méthode inductive ou méthode déductive ? Ici aussi la seconde l'emporte peu à peu, au niveau universitaire du moins.

On peut penser que le vrai débat est le suivant : présenter la physique comme "science naturelle", revue de phénomènes plus ou moins organisée et explicative, ou comme "science théorique et expérimentale", exposé systéma-

tique de théories et d'applications. Le changement dans les traités universitaires vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle est frappant à ce sujet, et clôt en quelque sorte le débat.

Or une revue de phénomènes manque de structure intellectuelle, et l'histoire peut lui donner une ligne directrice. Par contre, si l'exposé de théories est au centre de l'enseignement, si on veut faire apprendre une physique ou une chimie opératoires, il n'y a plus place pour de l'histoire, sinon quelque rapide "introduction" ou quelque "notice". L'exclusion paraît définitive, car l'antagonisme théorie/histoire est très fort.

3.3. Pourtant des tentatives ont été faites, en particulier la "*pédagogie de la redécouverte*" de C. Brunold (1948). Mais prétendre passer en deux heures de l'expérience à la découverte d'une loi ou la formulation d'un principe est une illusion... ou une escroquerie.

Plus modestement, certains chapitres plus "modernes" du programme ont pu être présentés de manière "historique". Ainsi les manuels des années 60 pour la dernière classe terminale des lycées présentaient l'effet photoélectrique de la manière suivante :

- existence ;
- les lois : • dispositif expérimental,
  - résultats : seuil, instantanéité, saturation, potentiel d'arrêt ;
- interprétation : travail d'extraction, loi d'Einstein  $\frac{1}{2} mv^2 = h (v - v_0)$ .

Une phrase résumait le sens du chapitre : "*l'interprétation de l'émission photoélectrique a suggéré à Einstein l'hypothèse des photons*". Autrement dit : il y avait les expériences, incompréhensibles... et enfin, en 1905, Einstein arriva.

Il est dommage pour cette reconstruction que Millikan (1924) la contredise totalement dans sa relation détaillée des expériences de 1916, de leurs difficultés et de leur sens. Mieux vaut sans doute ne pas faire d'histoire, mieux vaut une démarche "dogmatique" que de présenter une pseudo-histoire passant complètement à côté des problèmes expérimentaux surmontés par Millikan et de l'audace théorique d'Einstein dans son article de 1905 significativement intitulé : "*Sur un point de vue heuristique concernant la production et la transformation de la lumière.*"

3.4. Pour espérer réaliser le vœu de réintroduire l'histoire dans l'enseignement, il faut donc reprendre les problèmes à la base. Le problème fondamental doit sans doute être formulé ainsi : **quelles sont les conditions d'articulation entre une approche du sens historique et une initiation aux connaissances opératoires ?**

La première condition pour que l'histoire des sciences puisse s'intégrer à l'éducation scientifique consiste à modifier les fins mises en avant. Trois

orientations en ce sens peuvent être distinguées, et éventuellement combinées dans la pratique, pour assurer un “accrochage” de l’histoire :

– dans un premier cas, il s’agit que les élèves puissent mesurer leurs progrès aux obstacles franchis dans le passé par la communauté scientifique. C’est ce qu’avait tenté avec des élèves de 13-14 ans J. Charlemagne (1978) à propos de l’initiation à la mécanique ;

– dans un second cas, il s’agit d’inscrire l’acculturation scientifique dans une approche d’ensemble des relations Sciences/Techniques/Structures et évolutions sociales. G. Aikenhead (1992) a argumenté les multiples modalités de ce type d’enseignement et donné des éléments d’évaluation sur les expériences existantes, en Amérique du Nord et en Europe. En France, F. Audigier et P. Fillon (1991) illustrent bien cette orientation ;

– dans un troisième cas, il s’agit enfin de promouvoir l’appropriation de la science comme une aventure humaine, et pas seulement comme l’acquisition de connaissances théoriques et instrumentales. H. Nielsen et P. Thomsen (1986) avaient insisté en ce sens lors de la conférence de Munich sur l’éducation scientifique et l’histoire de la physique. Dans un article plus récent, J. Fournier (1991) a développé l’intérêt de l’histoire de la chimie dans l’enseignement supérieur pour aider les étudiants chimistes à mieux s’orienter dans la discipline et aider leur propre choix.

Ces nouvelles finalités sont légitimes dans les classes littéraires et y rendent possible l’histoire des sciences. Ce sont aussi celles qui orientent un manuel comme celui de G. Holton (1973), *Introduction to concepts and theories in physical science*.

3.5. Au-delà des fins, la seconde condition pour une intégration de l’histoire des sciences réside dans un changement de la conception des activités des élèves. À côté des cours, des exercices, des travaux pratiques, il faut accepter des activités de documentation, avec une place significative et une fonction fondamentale. Il s’agit de considérer la science comme objet de communication.

C’est ainsi que la collection de manuels de sciences physiques éditée de 1977 à 1980 (collection *Libres Parcours*, Hachette), comporte dans le cadre d’une structure complètement nouvelle (documents – activités – encyclopédie) des textes historiques dans la partie documents. Ce ne sont pas des annexes à une “leçon”, mais des occasions de lecture, de réflexion, de comparaison, de mise en relation.

Pour que l’enseignement, avec ces activités variées, retrouve une unité, il faut trouver une complémentarité et une convergence des différentes approches. Comme y invite pour la France la *Déclaration sur l’Enseignement des Sciences Expérimentales* du Conseil National des Programmes, il faut articuler des démarches d’investigation, expérimentale et documentaire, et des démarches de présentation, constructive ou déductive. Alors, l’histoire des sciences, comme la réflexion sur l’activité scientifique elle-même, peuvent effectivement trouver leur place.



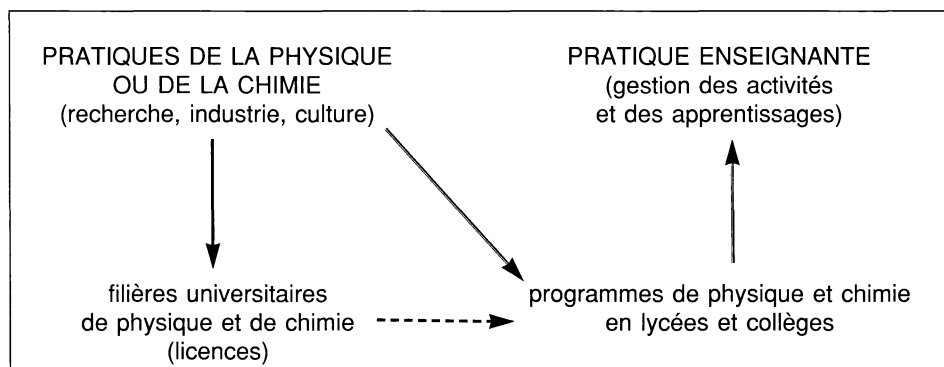
3.6. Apparaît alors en évidence la troisième condition, celle de la mise à disposition d'outils documentaires pertinents. Il n'y a pas tant besoin de récits historiques, ou de chronologies, que de recueils de textes, authentiques, assez longs pour être étudiés, accessibles sans être noyés sous les introductions ou les notes. Pour les sciences physiques en France, il y a sans doute eu une régression des ressources disponibles depuis les recueils des années 1900 (pour un exemple de publication récente, voir D. Fauque, 1991).

Mais il y a aussi besoin de livres qui donnent des idées d'exploitation pour les enseignants, des "portefeuilles" de documents : une époque/une expérience/un chercheur/un progrès théorique/un progrès instrumental, etc.

#### 4. L'HISTOIRE DES SCIENCES DANS LA FORMATION DES ENSEIGNANTS

On peut considérer la didactique, discipline de formation des enseignants, comme une discipline de transfert entre les disciplines universitaires, qui devraient donner des éléments pour la compréhension de la physique et de la chimie telles qu'elles se pratiquent, et l'exercice du métier d'enseignant de sciences physiques au lycée et au collège, voire à l'école.

Le tableau ci-après permet de localiser les problèmes de la formation des enseignants : on doit s'interroger sur chaque rubrique et chaque flèche.



Où et quand est-il utile, intéressant, nécessaire même, de recourir à l'histoire des sciences ?

S'il s'agit d'abord de la formation de savoirs professionnels pour maîtriser la pratique enseignante, l'histoire ne peut être qu'au "service" de la formation didactique. Mais dans sa composante pratique (stage avec des

élèves) et dans sa composante normative (appropriation des curriculums officiels), on peut estimer aujourd'hui que la formation didactique n'a pas besoin d'histoire des sciences compte tenu des finalités habituelles.

Seule la composante qui s'appuie sur l'innovation et la recherche, et qui assume donc une **fonction critique et prospective**, fonction habituellement fort minoritaire dans la formation, appelle des apports historiques. La première partie de ce "point de vue" a montré comment l'histoire des sciences pouvait éclairer les problèmes rencontrés dans la gestion des activités et des apprentissages. La seconde partie a évoqué l'usage de l'histoire des sciences pour mieux poser les questions d'élaboration et de signification des programmes de physique et de chimie. Enfin la troisième partie a cherché à mettre en évidence les conditions et les moyens nécessaires à une intégration de l'histoire des sciences dans les programmes. Ces trois thématiques peuvent orienter la formation historique au service de la didactique.

A côté de cette histoire des sciences, étroitement dépendante et on peut dire "servante" de la didactique, il y a une place pour l'épistémologie, et donc l'histoire des sciences, avec un statut majeur. La carence principale des futurs enseignants de physique et de chimie n'est pas en effet leur "niveau universitaire insuffisant" dans ces disciplines : c'est que leurs études universitaires permettent peu de réel contact avec les pratiques de la physique ou de la chimie, dans la recherche, l'industrie, la culture... La "mission" de l'histoire et de l'épistémologie des sciences est donc de nourrir la documentation et la réflexion sur ces pratiques, leurs évolutions, leurs fondements, sans visée didactique immédiate.

## BIBLIOGRAPHIE

AIKENHEAD G. (1990). L'approche sciences-technologies-société et l'apprentissage des sciences : une perspective de recherche (Savard L., traductrice). *Bulletin Cethes-EMSTES* - n° spécial 16, Facultés Universitaires de Namur.

AUDIGIER F. & FILLON P. (1991). *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques, une approche pluridisciplinaire*. Paris, INRP.

BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin.

BELHOSTE B. (1990). L'enseignement secondaire français et les sciences au début du XX<sup>e</sup> siècle. La réforme de 1902 des plans d'étude et des programmes. *Revue d'histoire des sciences*, t. XLIII, n° 4, pp. 371-400.

BENSEGHIR A. (1989). *Transition électrostatique - électrocinétique ; point de vue historique et analyse des difficultés des élèves*. Thèse. Paris, Université Paris 7.

BROUZENG P. & BLONDEL C. (Eds) (1988). *Histoire de la physique et enseignement des sciences*. Université Orsay et Paris - Cité des Sciences et de l'Industrie.

BRUNOLD C. (1948). *Esquisse d'une pédagogie de la redécouverte dans l'enseignement des sciences*. Paris, Masson.

CHARLEMAGNE J. (1978). Réflexions sur une première approche du mouvement en mécanique avec des élèves de quatrième. *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, n° 8, pp. 47-55.

DÉSAUTELS J. & LAROCHELLE M. (1988). *Qu'est-ce que le savoir scientifique ? Points de vue d'adolescents*. Québec, Presses de l'Université Laval.

Équipe INRP/LIREST (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation*. Paris, INRP.

FAUQUE D. (1991). *Pages choisies : la révolution chimique*. Orsay - Plus.

FOURNIER J. (1991). L'histoire de la chimie : quel intérêt pour le chimiste ? *L'actualité chimique*, juillet-août 1991, pp. 292-294.

GARCIA R. & PIAGET J. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris, Flammarion.

HALBWACHS F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. Paris-Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.

HOLTON G. & BRUSH S. (1973 - 1<sup>re</sup> éd.). *Introduction to concepts and theories in physical science*. Addison-Wesley (2<sup>e</sup> édition 1985, Princeton University Press).

HULIN N. (1984). L'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique. *Revue Française de Pédagogie*, n° 66, pp. 15-27.

JOHSUA S. (1985). *Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique (essai de didactique expérimentale)*. Thèse d'État, Marseille, Université d'Aix-Marseille II.

LE FUR P. (1992). Un pendule de Foucault au Prytanée de la Flèche. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 741, pp. 193-204.

MARTINAND J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne, Peter Lang.

MILLIKAN R.A. (2<sup>e</sup> éd. 1924). *L'électron*. Paris, Alcan (1926).

NIELSEN H. & THOMSEN P. (1986). Crises in Physics Education. In P. Thomsen (Ed.), *Science Education and the History of physics*. Aarhus University, pp. 9-23.

SALTIEL E. & VIENNOT L. (1984). What do we learn from similarities between historical ideas and the spontaneous reasoning students ? In P. Linjse (Ed.), *The many faces of teaching and learning mechanics*. Utrecht, GIREP/SVO/UNESCO.

SOLOMONIDOU C. (1991). *Comment se représenter les substances et leurs interactions ? Etude chez les jeunes élèves du collège*. Thèse. Paris, Université Paris 7.

STAVRIDOU H. (1990). *Le concept de réaction chimique dans l'enseignement secondaire*. Thèse. Paris, Université Paris 7.

*Libres parcours* (1977-1980). Collection de manuels de sciences physiques pour les élèves et guides du maître (classes de sixième, cinquième, quatrième, troisième). Paris, Hachette.

*Didactique et histoire des sciences* (1987). Aster, n° 5, Paris, INRP.

*Déclaration du Conseil National des Programmes sur l'Enseignement des Sciences Expérimentales* (1991). Bulletin Officiel du 20 février 1992. Paris, Ministère de l'Éducation nationale.