

## FORMATION DES MAITRES EN PHYSIQUE : ANALYSES ET PROPOSITIONS

*Anna Maria Pessoa de Carvalho, Université de Sao Paulo, Brésil, et  
Daniel Gil-Perez, Université de Valencia, Espagne.*

La recherche en didactique a montré l'existence de différences frappantes entre les objectifs du concepteur d'un programme et ce que les enseignants pratiquent réellement (Cronin-Jones, 1991). Ces différences attirent l'attention sur l'influence exercée par les enseignants sur la mise en oeuvre des programmes de science dans les écoles secondaires. L'enjeu est d'une importance capitale dans un domaine tel que la physique où l'on prévoit des changements radicaux de programmes (dont certains ont déjà été mis en oeuvre) à ce niveau. Par ailleurs, un fort pourcentage d'élèves échoue en physique et l'attitude négative des élèves face à la science et à l'apprentissage de la science est en constante progression (Yager & Penich, 1985).

Ces résultats ont brisé les idées<sup>i</sup> simplistes sur l'enseignement de la science comme activité exigeant uniquement un solide savoir scientifique et une certaine expérience. En d'autres termes, ces résultats ont mis en évidence que la formation de l'enseignant ne peut être réduite à des cours scientifiques, comme cela était habituellement le cas.

Une méthode, expérimentée dans de nombreux pays, consiste à compléter les cours scientifiques par d'autres cours sur l'enseignement. Quels sont les résultats de cette méthode ?

Comme McDermott (1990) l'a montré, les cours d'université ne fournissent en général pas le type de préparation que les enseignants devraient avoir :

- l'enseignement sous forme de cours dans les classes stimule l'apprentissage passif ; les futurs enseignants sont plus accoutumés à recevoir qu'à transmettre des connaissances ;
- les problèmes traditionnels présentés dans les classes conduisent à des solutions algorithmiques, répétitives et ils ne parviennent pas à stimuler le type de raisonnement nécessaire à l'approche de nouvelles situations telles que des questions imprévues que les élèves peuvent soulever.
- le travail en laboratoire met en jeu du matériel complexe qui n'est pas disponible dans les écoles secondaires, et surtout, il est restreint à de simples vérifications, comme des recettes de cuisine, qui donnent une idée réductionniste et déformée de l'activité scientifique.

D'un autre coté, les cours de didactique ou de pédagogie sont complètement séparés de l'enseignement du contenu, et les enseignants ne peuvent pas voir l'intérêt de ces cours pour leurs propres problèmes d'enseignement et d'apprentissage.

Aujourd'hui, la situation n'est plus acceptable du fait que la didactique a connu un développement impressionnant (Tiberghien, 1985 ; Linn, 1987 ; Viennot, 1989), et qu'elle est devenue un corps de savoir cohérent et spécifique (Gil et al., 1991 ; Hodson, 1992). Ainsi la formation professionnelle des enseignants de physique peut être centrée sur les problèmes d'enseignement et d'apprentissage de la physique, amenant ainsi à l'acquisition d'un fondement théorique de la pratique.

Quelles peuvent être les principales implications de la didactique sur la formation des enseignants de physique ?

Nous soulevons quatre points qui, à notre avis, sont fondamentaux et constituent manifestement une rupture avec l'idée simpliste de la formation des maîtres. Ces quatre points fondamentaux sont : 1) la nécessité d'une connaissance approfondie de la discipline à enseigner - connaissance qui, de loin, dépasse celle correspondant à l'approche réductionniste qui est généralement adoptée ; 2) le questionnement des idées " de sens commun " des enseignants

sur l'enseignement et l'apprentissage de la physique ; 3) l'acquisition de connaissances théoriques sur l'apprentissage de la physique ; et 4) l'implication dans la recherche en didactique de la physique et dans l'innovation.

## Connaître la discipline à enseigner

Personne ne remet en question la nécessité pour les enseignants d'avoir des connaissances approfondies sur ce qu'ils doivent enseigner. Il peut paraître superflu de formuler ce point si nous considérons que, dans de nombreux pays, la formation des maîtres est pratiquement limitée à des cours de physique avec quelques disciplines pédagogiques (Carvalho & Vianna, 1988). Toutefois, il nous faut insister sur ce point du fait des raisons indiquées ci-dessous.

Peut-être en réaction à l'attention exclusive accordée traditionnellement au contenu spécifique dans la préparation de l'enseignant, des propositions ont été émises afin de rendre ces contenus relativement peu importants. Dans la plupart des cours actuels de formation des enseignants, on voit que les activités tendent à se centrer essentiellement sur les propositions de méthodologies innovantes d'enseignement, avec un manque surprenant d'insistance sur le contenu spécifique. Cette attitude ressemble à l'acceptation implicite qu'une formation initiale sur cet aspect est suffisante. Toutefois, il est de plus en plus évident que cette préparation initiale est en fait insuffisante (Krasilchik, 1995), et, comme Tobin et Espinet (1989) l'ont montré dans leur article sur le soutien et l'assistance aux enseignants de science, le manque de connaissances scientifiques est le principal obstacle à l'adoption par les enseignants d'activités innovatrices. Pacca et Villani (1992) sont arrivés aux mêmes résultats en travaillant avec des enseignants de science brésiliens.

En outre, il est nécessaire d'attirer l'attention sur le fait que quelque chose d'apparemment simple comme "connaître la discipline à enseigner" suppose des connaissances professionnelles très diverses (Coll, 1987 ; Bromme, 1988) : des connaissances qui se prolongent bien au-delà de celles fournies traditionnellement dans les cours de l'école secondaire. Pour s'en tenir aux faits, connaître la discipline à enseigner devrait inclure (Gil & Carvalho, 1994) :

1.1 - connaître les problèmes qui ont été soulevés lors de la construction du savoir à enseigner, sans lesquels le savoir semble avoir été construit arbitrairement. Connaître *l'histoire des sciences*, non seulement en tant qu'aspect fondamental de la culture scientifique, mais, en définitive, comme un moyen d'associer la connaissance scientifique aux problèmes qui ont conduit à la construction de cette connaissance (Otero, 1985 ; Mattheus, 1990, 1994 ; Castro & Carvalho, 1995). Et surtout, connaître *les difficultés qui se sont présentées dans la construction de cette connaissance, les obstacles épistémologiques en jeu*, cette connaissance constituant une aide essentielle à la compréhension des difficultés des élèves (Saltiel & Viennot, 1985 ; Driver, 1994) ; connaître également comment cette connaissance s'est développée et comment les différents points sont parvenus à se rejoindre en un corps de savoir logique, et, en conséquence, éviter les idées statiques et dogmatiques qui déforment la nature profonde du travail scientifique (Gagliardi & Giordan, 1986) ;

1.2 - connaître les *orientations méthodologiques utilisées dans la construction du savoir*. En d'autres termes, savoir comment les chercheurs approchent les problèmes, les aspects les plus marquants de leur activité et les critères utilisés pour valider les théories. Cette connaissance est essentielle pour, dans l'enseignement, orienter de manière appropriée les pratiques de laboratoire, la résolution de problèmes, et la construction des connaissances par les élèves (Gil et al. 1991) ;

1.3 - connaître *les interactions science / technologie / société*. Ceci est essentiel pour donner une image correcte de la physique, puisque le travail des scientifiques n'est pas réalisé en dehors de la société dans laquelle ils vivent - il est affecté par les problèmes et les circonstances du contexte historique - et leurs actions influencent nettement l'environnement physique et social. Il peut apparaître superflu d'insister sur ce point, mais lorsque nous analysons notre enseignement à l'université, nous voyons que celui-ci est réduit à la transmission de contenus conceptuels,

dépourvus des aspects historiques, sociaux et technologiques qui marquent le développement de l'humanité ;

1.4 - acquérir des *connaissances sur les développements récents de la science* pour transmettre une idée dynamique et ouverte de la physique. Il est en outre nécessaire d'acquérir des connaissances sur d'autres domaines en relation, afin d'être capable d'*approcher les "problèmes qui sont à la frontière", les interactions entre les différents domaines et les processus d'unification*.

1.5 - savoir *comment choisir un contenu approprié*, accessible aux élèves et susceptible d'éveiller leur intérêt et de donner une idée correcte de la physique.

1.6 - être préparé à *approfondir les connaissances* acquises pendant les cours de formation initiale des enseignants en considérant avec attention les progrès scientifiques et les changements de programmes.

## **Connaître les idées spontanées des enseignants sur la physique et sur l'enseignement et l'apprentissage de la physique**

Les recherches récentes en didactique montrent que les enseignants ont des idées, des attitudes et des comportements relatifs à l'enseignement de la science qui sont fondés sur une très longue période de formation "environnementale" - la période pendant laquelle ils ont été eux-mêmes élèves (Hewson & Hewson, 1988). L'influence de cette formation "en toile de fond" est énorme car elle correspond à des expériences réitérées acquises de manière non consciente comme quelque chose de naturel et échappant donc à la critique.

En fait, comme Bell et Pearson (1992) l'ont montré, il n'est pas possible de modifier ce que les enseignants et les élèves font dans la classe sans transformer leur épistémologie, leurs conceptions sur la manière dont le savoir est construit, leurs idées sur la science. Ce n'est pas seulement une question d'inductivisme extrême bien connu et dénoncé si souvent auparavant. Nous devons faire attention à bien d'autres distorsions (Gil, 1993 ; Hodson, 1993 ; Guilbert & Meloche, 1993) comme par exemple :

2.1 - *L'inductivisme extrême*, mettant en valeur l'observation " libre " et l'expérimentation ("non sujette à des idées *a priori* ") et oubliant le rôle essentiel joué par l'élaboration des hypothèses et par la construction d'ensembles cohérents de connaissances (théories). De plus, en dépit de la grande importance accordée à l'expérimentation, l'enseignement de la science reste assez fréquemment purement livresque, avec peu de travaux pratiques. Pour cette raison, l'expérimentation garde le charme d'une "révolution inaccomplie". Cette vision inductiviste sous-tend l'orientation de l'apprentissage comme *découverte* et la réduction de l'apprentissage de la science au *processus* de la science.

2.2 - *Une idée rigide* (algorithmique, exacte, infaillible,...dogmatique). La "méthode scientifique" est présentée comme une séquence linéaire d'étapes à suivre pas à pas. Le traitement quantitatif et le contrôle sont mis en valeur, en oubliant - ou même en rejetant - tout ce qui est lié à l'invention, à la créativité et à des constructions provisoires. Le savoir scientifique est présenté dans son "état final", sans aucune référence aux situations - problèmes qui sont à son origine, à son évolution historique ou aux limitations de ce savoir qui apparaît comme une vérité absolue non susceptible de changement.

2.3 - *Une vision exclusivement analytique* qui met en valeur la nécessité de diviser et simplifier l'objet d'étude, mais qui néglige les efforts d'unification visant à construire des corps de connaissances plus larges ainsi que le traitement des problèmes à la "frontière" entre différents domaines. A l'opposé, il existe aujourd'hui une tendance à présenter l'unité de la nature, non comme le résultat d'un développement de la science, mais comme le point de départ.

2.4 - *Une vision purement accumulative.* Le savoir scientifique apparaît comme le résultat d'un développement linéaire, ignorant les crises et les restructurations profondes.

2.5 - Une idée de "*sens commun*" qui présente le savoir scientifique comme clair et "évident", passant sous silence les différences essentielles entre les stratégies scientifiques et le raisonnement de sens commun. Cette idée est caractérisée par des réponses rapides et assurées, fondées sur des "preuves", par l'absence de doutes ou de considérations sur d'éventuelles solutions alternatives, par le manque de cohérence dans l'analyse de différentes situations, par un raisonnement qui suit une séquence causale linéaire. Le "réductionnisme conceptuel" de la plupart des enseignements de science contribue à cette idée de sens commun en dissimulant qu'un changement conceptuel ne peut se produire sans des changements simultanés et profonds d'épistémologie et d'attitude.

2.6 - *Une idée "cachée" et élitiste.* Aucun effort particulier n'est fait pour rendre la science compréhensible et accessible. Au contraire, la compréhension de la connaissance scientifique est cachée derrière les expressions mathématiques. Ainsi, la science est présentée comme un domaine réservé à une minorité particulièrement douée, accordant peu d'espairs à la plupart des élèves et favorisant les discriminations ethniques, sociales et sexuelles.

2.7 - *Une idée individualiste.* La science apparaît comme l'activité de "grands scientifiques" isolés, oubliant le rôle du travail coopératif et celui de l'interaction entre les différentes équipes de recherche.

2.8 - *Une idée socialement "neutre".* La science est présentée comme quelque chose qui est élaborée dans des "tours d'ivoire", laissant de côté les relations complexes entre Science, Technique et Société (STS) et l'importance des décisions collectives dans la construction des problèmes sociaux reliés à la science et la technologie.

En opposition à cette vision de la science hors contexte, il existe aujourd'hui une autre tendance dans l'enseignement secondaire, celle d'un "réductionnisme sociologique" qui limite le programme de l'enseignement scientifique au traitement des problèmes de "Science, Technique, et Société (STS)" et qui passe sous silence la recherche de cohérence et les autres aspects essentiels de la science.

Cette épistémologie spontanée du professeur constitue un obstacle sérieux au renouvellement de l'enseignement des sciences d'autant plus qu'elle est acceptée, sans être critiquée, comme "une évidence de sens commun". Il n'est toutefois pas du tout difficile de développer une attitude critique envers d'autres idées de sens commun : par exemple, lorsque les enseignants ont l'opportunité de discuter collectivement des distorsions sur la nature de la science transmises par l'enseignement de science, ils prennent facilement conscience de la plupart des dangers (Gil-Perez et al., 1991). En d'autres termes, le vrai danger semble provenir du manque d'attention à ce qui est habituellement considéré comme une évidence de sens commun.

De cette manière, les enseignants commencent à se poser des questions sur l'idée que l'enseignement des sciences n'exige pas de formation particulière, pensant que le savoir scientifique acquis à l'université, une certaine expérience et le sens commun sont suffisants. Ils prennent conscience de la nécessité d'acquérir un corps de savoir théorique spécifique concernant les processus d'enseignement/apprentissage de la physique.

## **Acquérir des connaissances théoriques sur les processus d'enseignement/apprentissage de la physique**

Nous devons ici principalement faire référence à l'approche constructiviste, qui est aujourd'hui considérée comme la contribution la plus remarquable à la didactique pour ces dix dernières années (Gruender & Tobin, 1991 ; Moutmer, 1995), intégrant de nombreux résultats de recherche. Les enseignants devraient mieux comprendre, tout particulièrement que :

3.1 - Les élèves ne peuvent pas être considérés comme des "tabula rasa". Ils ont des *préconceptions*, ou des "représentations alternatives"<sup>iii</sup> qui jouent un rôle essentiel dans leurs processus d'apprentissage (Viennot, 1979 ; Driver, 1986), contraignant à guider l'apprentissage comme un "changement conceptuel" (Posner et al., 1982) ou mieux, comme un changement conceptuel et épistémologique (Gil & Carrascosa, 1990 ; Dusch & Gitones, 1991) ;

3.2 - Un apprentissage qui a un sens exige que les *élèves construisent leurs connaissances* (Resnik, 1982) ;

3.3 - Pour construire des connaissances, les élèves ont besoin de traiter des situations - problèmes qui peuvent les intéresser ; cela oblige à concevoir un programme d'enseignement scientifique comme *un programme d'activités* (Driver & Oldman, 1986), c'est-à-dire des situations - problèmes que les élèves peuvent identifier comme valant la peine d'être étudiées (Gil et al., 1991 ; Astolfi, 1993) ;

3.4 - La construction du savoir scientifique est un produit social associé à l'existence de nombreuses équipes de scientifiques ; ceci suggère d'organiser des petits groupes d'élèves et de faciliter les interactions entre ces groupes (Wheatley, 1991) et la communauté scientifique, représentée par l'enseignant, les textes, etc.

3.5 - La construction du savoir scientifique nécessite des responsabilités axiologiques : nous ne pouvons pas nous attendre, par exemple, à ce que les élèves se sentent impliqués dans une activité de recherche dans une atmosphère de type "autorité policière" (Briscoe, 1991). Ceci a stimulé la recherche sur l'atmosphère de la classe et de l'école (Welch, 1985), sur les attitudes des élèves (et des professeurs) envers la science (Schibecci, 1984 ; Yager & Penick, 1986) et sur les relations STS. La construction des connaissances doit être associée au traitement de situations - problèmes qui apparaissent aux élèves comme étant *pertinentes* et *intéressantes* (Gil et al., 1991), leur permettant de prendre en compte les responsabilités sociales de citoyens attentifs ou des décideurs de haut niveau (Aikenhead, 1985).

Le plus important est que toutes ces contributions constituent des composantes, en relation, d'un corpus de savoirs intégrés générant l'émergence d'un modèle d'enseignement/apprentissage constructiviste, susceptible de remplacer le modèle habituel de transmission/réception. Mais comment un enseignant peut-il effectivement acquérir ce corpus théorique de savoir pouvant remplacer, par le constructivisme, le paradigme d'apprentissage par réception ? Nous traitons ce problème dans le paragraphe suivant.

## **Implication des enseignants dans la recherche en didactique de la physique et dans l'innovation**

Nous avons déjà abordé le problème de l'inefficacité de la simple transmission de savoir dans la formation des maîtres que ce soit à travers les manuels ou les cours. De telles procédures n'ont pas réussi à préparer les enseignants à de nouvelles formes constructivistes d'enseignement (Briscoe, 1991). Pour beaucoup, cela constitue une surprise désagréable : comment est-il possible que des enseignants motivés, qui participent volontairement à des séminaires et des cours avec l'intention de maîtriser de nouvelles méthodes et de renouveler leur enseignement, continuent à enseigner comme ils l'ont toujours fait, en adaptant les innovations aux méthodes traditionnelles ? Les enseignants eux-mêmes sont frustrés lorsqu'ils doivent affirmer que les choses ne marchent pas mieux que précédemment, en dépit des innovations.

Cette inefficacité de la simple transmission signifie que d'autres stratégies de formation sont nécessaires. Les travaux sur l'apprentissage des sciences fournissent des suggestions précieuses sur ce que pourraient être ces stratégies.

Les enseignants, tout comme les élèves, ont des préconceptions. L'apprentissage de la didactique par l'enseignant doit être considéré, tout comme l'apprentissage de la science par les

élèves, comme étant un changement conceptuel, épistémologique et d'attitude. Les connaissances des enseignants, comme celles des élèves, doivent se construire à partir de leurs connaissances préalables. Il y a un parallèle étroit entre la manière dont se produit le changement des conceptions sur la science et celle dont le changement se produit dans le cas des conceptions sur l'enseignement.

Les conditions que Posner et al (1982) ont identifiées comme nécessaires pour le changement conceptuel des élèves s'appliquent également au changement didactique des enseignants :

1. L'enseignant doit être insatisfait des méthodes existantes ;
2. il doit exister une nouvelle méthode intelligible au minimum qui
3. doit être plausible, même si au début elle contredit les conceptions préalables de l'enseignant ; et
4. doit être potentiellement fructueuse, résolvant les anomalies et les dysfonctionnements, et ouvrant de nouvelles perspectives pour résoudre les problèmes d'enseignement et d'apprentissage.

Toutefois, il ne doit pas y avoir de transfert mécanique des stratégies utilisées avec les élèves. La théorie constructiviste a conduit à certaines stratégies d'enseignement et a abordé les changements conceptuels explicitement et directement. Driver et Oldham (1986) ont résumé de telles stratégies comme étant des séquences 1) d'identification des idées des élèves ; 2) de questionnement de ces idées, d'utilisation d'exemples de confrontation pour produire des conflits cognitifs ; 3) d'introduction de concepts élaborés par les scientifiques qui résolvent les conflits ; et 4) d'utilisation de nouvelles idées dans des contextes variés pour promouvoir leur assimilation complète. Si une procédure similaire était appliquée dans la formation des maîtres, nous devrions mettre à jour les croyances sur l'enseignement et l'apprentissage, ensuite créer des conflits cognitifs pour préparer les enseignants à de nouvelles conceptions qui devront être montrées comme efficaces dans la pratique.

Une telle procédure peut rapidement produire des résultats positifs, du fait qu'elle repose sur les idées de sens commun que beaucoup acceptent sans aucune critique comme des évidences. Toutefois, après le premier impact, cela devient une stratégie "néfaste". Quelle est la conséquence d'avoir fait expliciter aux enseignants leurs idées et de les avoir fait s'interroger sur leur validité ? Cela génère une réserve qui inhibe le changement désiré. De la même manière, cet argument nous permet de nous rendre compte que la stratégie n'est pas adéquate pour le changement des conceptions des élèves en science (Gil et al., 1991 ; Gil & Carrascosa, 1995), même si avec les élèves, la résistance au questionnement systématique de leurs conceptions n'est pas si évidente.

Il y a une autre raison pour laquelle de telles stratégies peuvent inhiber la construction des connaissances. Elles mettent en jeu des problèmes pour lesquels les enseignants en formation essaient de mettre en oeuvre à la fois leurs connaissances préalables et les nouvelles idées. Lors de ce processus, les conceptions initiales peuvent subir des changements ou même être mises en question radicalement, mais cela n'est pas l'objectif immédiat - qui reste la solution du problème qui a été posé.

Cela soulève une question concernant les conflits cognitifs : ils ne signifient pas un questionnement externe des conceptions personnelles, ni la reconnaissance systématique des insuffisances du raisonnement propre de quelqu'un, avec ses implications affectives qui en découlent, mais une confrontation des idées personnelles, prises comme des hypothèses, avec d'autres hypothèses personnelles, tout comme les précédentes. Nous ne proposons pas d'éliminer les conflits cognitifs, mais d'éviter qu'ils apparaissent comme une confrontation entre les idées personnelles fausses et les idées scientifiques correctes.

De plus, il est important de prendre en compte que l'étude des conceptions avait jusqu'alors pour objectif de détecter ce que les élèves, et maintenant les enseignants, donnent comme réponse immédiate à certaines questions ; plus important encore est ce qu'ils auraient répondu si ils avaient eu du temps pour réfléchir de manière critique. En fait, si un travail collectif d'une certaine profondeur est facilité, les enseignants et les élèves sont capables de questionner ces

conceptions admises sans aucune critique et de construire des connaissances compatibles avec ce qui est accepté dans la communauté scientifique.

Les considérations précédentes suggèrent qu'une stratégie plus fructueuse pour le changement de l'enseignant consiste à impliquer les enseignants dans la recherche avec leur propre classe sur l'enseignement et l'apprentissage de la science. Les enseignants devraient ainsi être les membres principaux d'équipes autonomes impliquant des chercheurs et des innovateurs dans l'enseignement de la science. Une telle stratégie aurait les caractéristiques suivantes :

4.1 - Etre conçue en relation étroite avec la *pratique d'enseignement elle-même*, comme une façon de traiter des problèmes d'enseignement/apprentissage posés par une telle pratique.

4.2 - Favoriser l'expérimentation des propositions innovantes et expliciter la réflexion sur l'enseignement, questionner le raisonnement et le comportement d'un enseignement "spontané", c'est-à-dire, questionner le caractère "naturel" de "ce qui a toujours été fait".

4.3 - Etre conçue pour :

- associer les enseignants à l'investigation et l'innovation relatives à l'enseignement des sciences et au travail qui en découle,
- impliquer les enseignants dans la construction de corpus de savoirs spécifiques de l'enseignement de science et les associer à la communauté scientifique de ce domaine.

## Bibliographie

AIKENHEAD, G.S., 1985. 'Collective decision making in the social context of science'. **Science Education**, 69(4), 453-75.

ASTOLFI J.P., 1993 'Trois Paradigmes pour les Recherches en Didactique' **Revue Française de Pédagogie**, 103. 5-18.

BELL B. F. & PEARSON J., 1992. 'Better Learning', **International Journal of Science Education**, 14 (3) , 349-361..

BRISCOE, C., 1991. 'The dynamic interactions among beliefs, role metaphores and teaching practices. A case study of teacher change'. **Science Education**, 75(2), 185-99.

BROMME R., 1988 'Conocimientos proficionales de los profesores' **Enseñanza de las Ciencias** 6 (1), 19-29.

CARVALHO A.M.P. and VIANNA D.M., 1988. 'A Quem Cabe a Licenciatura' **Ciência e Cultura SBPC**, São Paulo, 40(2), pp 143-163

CASTRO R. S. & CARVALHO A.M.P. 1995, 'The Historic Approach in Teaching: Analysis of an Experience', **Science & Education** 4, 65-85.

COLL C., 1987. **Psicologia Y Curriculum**, Laia, Barcelona

CRONIN-JONES, L.L. 1991. 'Science teaching beliefs and their influence on curriculum implementation: two case studies'. **Journal of Research in Science Teaching**, 38 (3), 235-50.

DRIVER, R. 1986. 'Psicologia Cognocitiva y Esquemas Conceptuales de los Alumnos'. **Ensenanza de las Ciencias**, 4 (1), 3-15.

DRIVER, R. & OLDHAM, V. 1986 'A Constructivist Approach to curriculum development in Science' **Studies in Science Education** 13, 105-122

- DUSCH, R. & GITOMER, D. 1991. 'Epistemological Perspectives on Conceptual Change: Implications for Educational Practice'. **Journal of Research in Science Teaching**, 28(9), 839-58.
- GAGLIARDI R. & GIORDAN A, 1986, La Historia de las Ciencias: Una Herramienta para la Enseñanza, **Enseñanza de las Ciencias**, 4 (3), 253-259.
- GIL D. 1993. 'Contribución de la Historia y la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza / aprendizaje como investigación'. **Enseñanza de las Ciencias** 11, 197-212
- GIL D. & CARRASCOSA J. 1985 'Science Learning as a Conceptual and Methodological Change', **European Journal of Science Education**, 7 (3), 231-236
- GIL D. & CARRASCOSA J. 1990. 'What to do about science misconceptions?'. **Science Education**, 74(4).
- GIL D. & CARRASCOSA J., 1994, 'Bringing Pupils' Learning Closer to a Scientific Construction of Knowledge: A Permanent Feature in Innovations in Science Teaching' **Science Education** 78 (3) 301-315.
- GIL D., CARRASCOSA J. FURIO C and MTNEZ-TORREGROSA J. 1991, **La Enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria**. Horsori; Barcelona.
- GIL D. & CARVALHO A.M.P. 1994. Enseñanza de las Ciencias in GIL D., CARVALHO A.M.P., FORTUNY M. and AZCÁRATE C. **Formación del Profesorado de las Ciencias y la Matemática : Tendencias y Experiencias Innovadoras**, Editorial Populas, S.A.. Madrid.
- GRUENDER, C.D. & TOBIN K. 1991. 'Promise and Prospect'. **Science Education**, 75(1), 1-8.
- GUILBERT L. & MELOCHE D. 1993, 'L'Idée de Science chez des Enseignants en Formation: un Lien entre L'Histoire des Science et L'Hétérogénéité de Visions?' **Didaskalia**, 2, 7-30
- HEWSON P.W. & HEWSON M.G., 1988. 'On Appropriate Conception of Teaching Science: a View from Studies of Science Learning'. **Science Education**, 72 (5) 529-540.
- HODSON D., 1992 'Assessment of Practical work. Some Considerations in Philosophy of Science'. **Science & Education**, 1(2), 115-144.
- HODSON D. 1993. 'Re-thinking Old Ways: Towards a More Critical Approach to Practical work in School Science', **Studies in Science Education**, 22, 85-142.
- KRASILCHIK M., 1995. 'The Ecology of Science Education: Brazil 1950-90' **International Journal of Science Education**, 17 (4) 413-423.
- LINN, M.C. 1987. 'Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations'. **Journal of Research in Science Teaching**, 24(3), 191-216.
- MATTHEWS M.R., 1990. 'History, Philosophy and Science Teaching: A Rapprochement'. **Studies in Science Education**, 18, 25-51
- McDERMOTT L.C. 1990. 'A Perspective on teacher preparation in Physics- Other Sciences: The Need For Special Courses For Teachers'. **American Journal of Physics**, 58 (8), 734-742.
- MEICHSTRY Y. 1993. 'The Impact of Science Curricula on Students Views About the Nature



of Science' **Journal of Research in Science Teaching**, 39 (5), 429-443.

MOUTMER E.F. 1995, 'Conceptual Change or Conceptual Profile Change?', **Science & Education** 4 (3) 367-285.

OTERO, J.1985.' Assimilation Problems in Tradicional Representation of Scientific Knowledge'. **European Journal of Science Education**, 7(4), 361-9.

PACCA L.A. & VILLANI A.,1992. **Estratégias de Ensino e Mudança Conceitual na Atualização de Professores**. Trabalho apresentado na V Reunião Latino-Americana em Ensino de Física, Gramado R.G.S. Brazil

POSNER,G. L.,STRIKE,K. A.,HEWSON.P.W.and GERTZOG,W. A. 1982, 'Accomodation of a Scientific Conception: Towards a Theory of Conceptual Change' **Science Education**, 66, 211-227.

SATIEL E & VIENNOT L, 1985, 'Que aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontaneo de los estudiantes?' **Enseñanza de las Ciencias**, 3 (2) 137-144

SCHIBECCHI,R.A.,1986. 'Images of science and scientists and science education'. **Science Education**, 70(2), 139-49.

TIBERGHEN, A. 1985. 'Quelques éléments sur l'evolution de la recherche en didactique de la physique'. **Revue Française de Pédagogie**, 72, 71-86.

TOBIN K. & ESPINET M.,1989. 'Impediments to Change: Applications of Coaching in high school science teaching'. **Journal of Research in Science Teaching**, 26 (2), 105-120.

VIENNOT L., 1989. 'La didáctica en la enseñanza superior para qué?' **Enseñanza de las Ciencias**. 7(1), 3-13.

VIENNOT L.1979. **Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire**. Tese de doutoramento. Paris, Herman.

WELCH W.,1985. 'Research in Science Education: Review and Recomendations'. **Science Education**, 69, 421-448.

WHEATLEY, G. H., 1991. 'Constructivist perspectives on Science and Mathematics learning'. **Science Education**. 75(1), 9-21.

YAGER, R.E. & PENICK, J.E. 1983. 'Analysis of the current problems with school science in the USA'. **European Journal of Science Education**, vol. 5, 463-59.

YAGER,R.E. & PENICK,J.R. 1986 'Effects of Instruction Using Microcomputer Silulations and Conceptual Cange Strategics on Science Learning **Journal of Research in Science Teaching**, 23 (1), 27-93.

---

<sup>i</sup> Le mot "view", utilisé plusieurs fois dans ce chapitre, a été systématiquement traduit par "idée"

<sup>ii</sup> Note du traducteur : en anglais "alternative frameworks"