



HAL
open science

Contribution à la réflexion sur la rénovation de l'enseignement des sciences physiques dans l'enseignement secondaire

Jean-Marie Boilevin

► **To cite this version:**

Jean-Marie Boilevin. Contribution à la réflexion sur la rénovation de l'enseignement des sciences physiques dans l'enseignement secondaire. Education. Aix Marseille Université, 2010. tel-03338112

HAL Id: tel-03338112

<https://theses.hal.science/tel-03338112v1>

Submitted on 8 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Provence

**Contribution à la réflexion sur la rénovation de
l'enseignement des sciences physiques dans
l'enseignement secondaire**

Quelques apports de la didactique des sciences

Note de synthèse pour l'Habilitation à diriger des recherches

Jean-Marie Boilevin

Maître de conférences

Université de Provence – IUFM de l'académie d'Aix-Marseille

08 décembre 2010

Habilitation à diriger des recherches

Jean-Marie Boilevin

Université de Provence

Spécialité : Sciences de l'éducation

Contribution à la réflexion sur la rénovation de l'enseignement des sciences physiques dans l'enseignement secondaire. Quelques apports de la didactique des sciences

JURY :

Mme Marguerite ALTET
M. Jean-Jacques DUPIN
M. Jacques GINESTIE
M. Pierre LENA
M. Konstantinos RAVANIS
M. Patrice VENTURINI

Université de Nantes
Université d'Aix-Marseille I
Université d'Aix-Marseille I
Université de Paris 7
Université de Patras (Grèce)
Université de Toulouse II

Examinatrice
Référent
Président
Examineur
Rapporteur
Rapporteur

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier vivement Jean-Jacques Dupin qui a accepté de m'accompagner dans la rédaction de cette note de synthèse. Son soutien constant et amical, ses conseils avisés et ses critiques constructives ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Mes remerciements vont aussi à Jacques Ginestié, Konstantinos Ravanis et Patrice Venturini qui m'ont fait l'honneur et le plaisir d'accepter d'être rapporteurs. Je remercie également Marguerite Altet et Pierre Léna, qui avec les chercheurs précédents, m'ont fait l'honneur de participer au jury de soutenance.

Je tiens à exprimer également toute ma gratitude aux élèves et aux enseignants qui ont accepté de participer à mes travaux de recherche.

Merci également aux membres de l'équipe de recherche Gestepro et aux formateurs du département Sciences de la matière de l'IUFM qui m'ont amené à approfondir ma réflexion. Mes remerciements vont également aux collègues qui m'ont accompagné dans certaines des recherches présentées dans ce manuscrit.

Enfin, que mes proches qui m'ont encouragé tout au long de ce travail trouvent ici l'expression de mes plus vifs remerciements. Merci pour leur compréhension et leur soutien indéfectible.

Sommaire

1	Introduction	7
1.1	Parcours professionnel : de l'enseignement à la formation des maîtres et à la recherche en didactique.....	7
1.1.1	Enseignement et formation des maîtres	7
1.1.2	Première expérience de recherche en didactique : comment les professeurs de sciences physiques des lycées utilisent-ils les modèles moléculaires ?.....	8
1.1.3	Formation des maîtres et recherche en didactique des sciences.....	10
1.2	La didactique des sciences	11
1.3	Didactique des sciences et enseignement des sciences physiques dans l'enseignement secondaire français : vers de nouvelles orientations de recherche.....	15
	Partie 1.....	19
	Enseignement des sciences physiques : éclairage de la didactique des sciences.....	19
2	Transposition didactique élargie	21
2.1	La transposition didactique.....	21
2.2	La question de la référence	22
2.2.1	Les pratiques sociales de référence	23
2.2.2	Les savoirs experts et les savoirs professionnels	24
2.3	La transposition didactique en débat	25
2.3.1	Savoirs et pratiques.....	25
2.3.2	Dépersonnalisation, savoirs et connaissance	25
2.3.3	Tentatives d'élargissement du concept de transposition didactique.....	26
2.4	Discussion.....	27
3	Quels types de tâches pour quels types d'apprentissage dans l'enseignement de la physique-chimie ?	31
3.1	Repères épistémologiques	31
3.2	Finalités d'un enseignement des sciences physiques.....	33
3.2.1	Le cas de la France.....	33
3.2.2	Culture scientifique.....	40
3.2.3	Les recherches sur les curricula	42
3.3	Les activités expérimentales	43
3.4	Les activités de modélisation.....	47

3.5	Place du problème dans l'enseignement de la physique	48
3.5.1	Qu'est-ce qu'un problème ?	48
3.5.2	Résolution de problème : de la psychologie cognitive à la didactique de la physique.....	49
3.5.3	Modélisation de l'activité de résolution de problème ouvert	51
3.5.4	Analyse du modèle d'activité de résolution de problème ouvert construit par des professeurs débutants	53
3.5.5	Autres types d'activités scolaires utilisant le problème de physique	58
3.6	Discussion - Bilan.....	60
4	Interactions didactiques.....	63
4.1	Cadres théoriques.....	63
4.1.1	Modélisations de la relation didactique	63
4.1.2	Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique	65
4.1.3	Modélisation des interactions didactiques en classe de sciences physiques ...	69
4.2	Présentation de nos principaux travaux de recherche	69
4.2.1	Fonctions de la verbalisation dans l'apprentissage de règles de schématisation en électricité au collège	70
4.2.2	Interactions didactiques et ordinateurs portables dans deux situations d'enseignement en physique et en technologie	74
4.2.3	Effet des interactions didactiques de type tutelle sur la construction de la formation des ombres dans la pensée des enfants à l'école maternelle	79
4.3	Discussion - Bilan.....	83
5	Didactique des sciences et formation des maîtres.....	87
5.1	Conception et analyse du fonctionnement d'un module de formation initiale d'enseignants de physique-chimie	88
5.1.1	Cadre théorique - Problématique.....	88
5.1.2	Dispositif de formation.....	89
5.1.3	Méthodologie.....	91
5.1.4	Résultats	92
5.1.5	Discussion - Conclusion	93
5.2	Formation de formateurs en didactique des sciences physiques	95
5.2.1	Principe et choix du module de formation.....	95
5.2.2	Description du stage mis en place.....	95
5.2.3	Résultats	97
5.2.4	Conclusion	100
5.3	Discussion – Bilan.....	100

Partie 2.....	105
Émergence de nouveaux champs de recherche en didactique des sciences	105
6 Désaffection pour les sciences ? Désaffection pour les études scientifiques ?	107
6.1 Rapports et enquêtes d'origine institutionnelle sur les sciences et les études scientifiques.....	107
6.1.1 Les rapports internationaux.....	107
6.1.2 Les rapports français sur les études scientifiques	114
6.1.3 Les expertises institutionnelles en France	126
6.2 Travaux de recherche en éducation	127
6.2.1 Les recherches en sociologie	127
6.2.2 Les recherches en éducation scientifique.....	130
6.3 Bilan intermédiaire - Discussion	136
6.3.1 Les constats.....	136
6.3.2 Les raisons.....	137
6.3.3 Les recommandations.....	139
6.3.4 Discussion.....	141
7 Images des sciences physiques et de son enseignement dans le secondaire.....	145
7.1 Travaux de recherche	145
7.1.1 Motivation en contexte scolaire	145
7.1.2 Attitudes envers les sciences - Image des sciences.....	146
7.1.3 Attitudes des élèves à l'égard des sciences : PISA 2006	154
7.1.4 L'implication de l'élève dans l'apprentissage de la physique : rapports aux savoirs de la physique.....	161
7.2 Rapports et enquêtes d'origine institutionnelle en France.....	162
7.2.1 Enquête CCSTI de Grenoble.....	163
7.2.2 Image de la physique et de la chimie et de leur enseignement.....	164
7.3 Discussion – Bilan intermédiaire.....	166
8 Enseignement et apprentissage des sciences physiques fondé sur l'investigation	169
8.1 Contexte international	169
8.1.1 Orientations curriculaires.....	169
8.1.2 Investigation scientifique en classe et pratiques enseignantes	172
8.1.3 Investigation scientifique en classe et formation des enseignants	174
8.1.4 Les élèves et l'investigation scientifique en classe	175
8.2 Contexte français	177
8.2.1 Pratique de la démarche d'investigation à l'école primaire	177

8.2.2	Pratique de la démarche d'investigation dans le second degré	181
8.2.3	Modélisation des séquences d'apprentissage par investigation scientifique ..	185
8.2.4	Étude de l'appropriation de la démarche d'investigation par des enseignants de sciences et technologie au collège	191
8.3	Discussion - Conclusion	194
8.3.1	De l'investigation scientifique à la démarche d'enseignement fondé sur l'investigation préconisée dans les curricula	194
8.3.2	Des prescriptions concernant l'investigation scientifique en classe aux pratiques réelles	196
8.3.3	De l'enseignement des sciences physiques fondé sur l'investigation aux apprentissages	196
8.3.4	Conclusion	197
9	Conclusion - Perspectives	199
9.1	Contexte institutionnel	199
9.2	Cadres théoriques et résultats obtenus	200
9.2.1	Transposition didactique élargie	200
9.2.2	Contenus d'enseignement	201
9.2.3	Interactions didactiques	203
9.2.4	Transposition didactique élargie, savoirs professionnels et formation des maîtres en sciences physiques	204
9.2.5	Désaffection pour les sciences et pour les études scientifiques	206
9.2.6	Image des sciences et des études scientifiques	209
9.2.7	Enseignement et apprentissage des sciences physiques fondé sur l'investigation	210
9.3	Perspectives de recherches	212
9.3.1	Orientations générales	212
9.3.2	Approfondissement et prolongement des travaux actuels	215
9.4	Conclusion	217
	Bibliographie	218
	Textes et rapports d'origine institutionnelle	246
	Index des auteurs cités	250
	Tables des figures et des tableaux	254

1 Introduction

Mon parcours professionnel m'a conduit à exercer la fonction de professeur de sciences physiques et chimiques en lycée pendant quelques années puis à mener en parallèle une activité de formateur d'enseignants à temps partagé pendant une douzaine d'années. Ces différentes fonctions ont fait naître et ont nourri de nombreuses interrogations sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences, interrogations qui m'ont amené à la recherche en didactique des sciences.

1.1 *Parcours professionnel : de l'enseignement à la formation des maîtres et à la recherche en didactique*

1.1.1 Enseignement et formation des maîtres

Au début de ma carrière dans l'Éducation nationale, j'ai exercé la fonction d'enseignant de sciences physiques dans le second degré. Après la période de formation et une première expérience en lycée, mes activités d'enseignement ont très vite pris une direction peu classique. J'ai en effet travaillé dans un lycée à caractère expérimental pendant une douzaine d'années. J'ai ainsi croisé très tôt des pédagogies alternatives aux pratiques enseignantes courantes, notamment des méthodes dites actives. J'ai expérimenté le travail en équipe enseignante pluridisciplinaire et la pratique pédagogique interdisciplinaire au sein notamment des « *activités complémentaires de formation* », précurseurs des dispositifs actuels de type « *travaux personnels encadrés* » et « *itinéraires de découverte* ». ¹

En tant que praticien, j'ai participé à une réflexion sur la place de l'expérience et la prise en compte des conceptions des élèves dans l'enseignement des sciences physiques dans le cadre de « *recherches pédagogiques spontanées* » mises en œuvre par l'institution locale (Rectorat de l'Académie) en utilisant notamment des situations-problèmes avant que cette pratique ne se généralise. De plus, j'ai collaboré au groupe de travail mis en place par l'Union des Physiciens dans les années 90 pour expérimenter l'évaluation des capacités expérimentales des élèves de terminale S. J'ai ensuite participé à l'expérimentation institutionnelle de ce nouveau dispositif organisée par le ministère de l'Éducation nationale avant sa généralisation dans l'actuel Baccalauréat scientifique.

Parallèlement à ces activités enseignantes, je suis intervenu dans la formation initiale et continue des enseignants de sciences physiques au sein de la Mission Académique de Formation des Personnels de l'Éducation Nationale (MAFPEN) et d'un Centre Pédagogique Régional (CPR), puis en tant que formateur associé d'un Institut Universitaire de Formation des Maîtres. A cette occasion, j'ai découvert la distance existant entre les contenus des programmes scolaires, les représentations des enseignants sur les enjeux de l'enseignement des sciences et leurs pratiques réelles.

Ces différentes fonctions exercées m'ont montré les limites de l'innovation personnelle, en équipe ou institutionnelle et la nécessité d'une formation à la recherche pour concevoir et mettre en œuvre les actions de formation des maîtres qui m'étaient confiées. Les questions d'enseignement et d'apprentissage me semblaient essentielles et j'ai ainsi abordé la recherche en didactique des sciences physiques à travers un DEA de didactique des disciplines.

¹ Pour en savoir plus sur le projet du Lycée Pilote Innovant de Jaunay-Clan, consulter Noble, Bergeron et Fontaine (2005) ainsi que Brochet, Liège, Vierfond et Munès (1997) ou encore Brochet et Chatillon (1999) pour les aspects particuliers des enseignements scientifiques.

1.1.2 Première expérience de recherche en didactique : comment les professeurs de sciences physiques des lycées utilisent-ils les modèles moléculaires ?

A la fin des années 80, une question importante est abordée par les travaux en didactique des sciences physiques. La place du modèle et des activités de modélisation dans l'enseignement de ces deux disciplines en France est ainsi étudiée par les équipes du LIREST (Martinand, 1991, 1992, 1994b) et par d'autres chercheurs (Johsua & Dupin, 1989). Comme l'énonce Martinand (1991, p. 1-2) : « *la question primordiale est la suivante : les sciences physiques sont constructrices et utilisatrices de modèles. On pourrait donc s'attendre à voir accorder un rôle majeur aux démarches de modélisation dans les activités scientifiques du collège, et surtout du lycée. Or, sauf peut-être en mécanique et en électronique dans l'enseignement technique, ce qui domine dans les exercices et les manuels, c'est l'imposition d'un point de vue, d'un mode de description, d'une interprétation. Les modèles sont là, mais comme des vérités indiscutables ; ce qui disparaît, c'est le caractère hypothétique des constructions élaborées pour prédire ou expliquer, ainsi que l'idéalisation des « descriptions factuelles » qui permettent de donner prise à l'application théorique. Les « précautions d'usage » sont encore pires ; elles érodent la confiance dans les énoncés, sans marquer vraiment leurs limites, liés à leurs modalités de production. Peut-on s'affranchir de cette dogmatisation de l'enseignement ?* » Sur le plan épistémologique, le risque est donc grand de voir assimiler un modèle à la réalité dans le discours des enseignants et des élèves comme l'ont montré Halbwachs (1974) et Drouin (1988).

Pour surmonter cet obstacle, Martinand (1991, p. 2) avance qu'il « *s'agit de se donner les moyens de transformer les contenus et les activités d'enseignement et d'apprentissage pour développer une maîtrise de la modélisation comme attitude et démarche intellectuelle utilisant certains outils* ».

Cette question de la place du modèle dans les activités d'enseignement apparaît également liée aux travaux sur les curricula (curriculum prescrit et curriculum perçu par les enseignants). En effet, le concept de modèle est très peu présent de manière explicite dans les programmes scolaires de sciences physiques jusqu'à la fin du XX^{ème} siècle. Il s'agit donc de voir comment les enseignants interprètent les Instructions officielles et comment ils abordent ce concept dans leur enseignement. La transposition didactique peut alors être convoquée pour étudier ce phénomène.

1.1.2.1 Objet de recherche

A propos des modèles moléculaires, Castagna écrivait en 1971 que « *utilisé avec discernement, le modèle est un auxiliaire efficace dans l'enseignement et un stimulant indispensable. Mais il faut pourtant constater qu'au niveau de la formation des enseignants de sciences physiques, il est regrettable que l'utilisation critique du modèle ne soit pas l'objet d'une approche systématique* ».

La recherche entreprise en sein du GREDEC² (Boilevin, 1993; Boilevin, Davous & Thibault, 1996) visait à préciser comment les enseignants de lycée présentaient et utilisaient les modèles moléculaires en classe. Il s'agissait en particulier de repérer si ces derniers avaient un véritable statut de modèle ou bien s'ils étaient utilisés comme de simples maquettes de molécules. Cette étude se proposait de recenser les recommandations et les instructions officielles concernant l'usage des modèles moléculaires et d'éclairer les résultats d'un travail précédent sur l'impact des modèles moléculaires auprès des élèves (Besson, 1989; Besson & Davous, 1991).

² Groupe de Recherche en Didactique de la Chimie – Université Pierre et Marie Curie, Paris.

1.1.2.2 Principaux résultats de l'étude

Cette étude s'est appuyée d'une part, sur une analyse des Instructions officielles et de quelques manuels scolaires et, d'autre part, sur une enquête par questionnaire auprès d'enseignants débutants (professeurs stagiaires en I.U.F.M.) et chevronnés, complétée par des entretiens avec certains membres du GTD³ de chimie.

Les instructions officielles et les manuels préconisent l'utilisation des modèles moléculaires et ils insistent sur la dimension illustrative de la structure des molécules.

Les résultats de l'enquête sont, dans l'ensemble, en cohérence avec ceux de la précédente enquête « élèves ». Il apparaît clairement dans l'enquête « enseignants » que :

- Les professeurs utilisent les modèles moléculaires et font très souvent construire les modèles éclatés par les élèves mais pratiquement jamais les modèles compacts. Quand les modèles moléculaires ne sont pas ou très peu utilisés, c'est essentiellement par manque de temps ; c'est plus souvent le cas pour les professeurs stagiaires que pour les professeurs chevronnés. C'est d'ailleurs la différence la plus notable dans les réponses à l'enquête entre ces deux catégories.
- Les enseignants, le plus souvent, n'énoncent pas avec suffisamment de précision les conventions d'utilisation des modèles moléculaires et n'évoquent pas l'échelle à laquelle ils travaillent. Ils les utilisent comme une illustration de la structure des molécules dans l'espace et ne font pas explicitement mention du vide intra-atomique que d'ailleurs le modèle moléculaire ne « montre » pas. Les professeurs font souvent jouer à ces modèles un rôle de maquette représentant la réalité.

On retrouve un des résultats des recherches du LIREST sur la modélisation évoqué par Weil-Barais (1993). « *Les modèles sont présentés de manière dogmatique, comme des vérités indiscutables ... Dans l'enseignement actuel, les modèles sont davantage abordés comme « outils » que comme « objets »* ».

Mais les enseignants apparaissent en cohérence avec les contenus des programmes et leurs commentaires en estimant que la fonction principale du modèle moléculaire est d'illustrer le cours. Pourtant, le GTD de chimie, dans ses commentaires d'accompagnement des instructions officielles concernant les programmes en vigueur, et au cours des entretiens réalisés avec certains de ses membres, recommande d'utiliser les modèles moléculaires pour entraîner les élèves à la démarche de modélisation.

1.1.2.3 Discussion - Perspectives

Cette étude mériterait d'être reprise en étudiant des facteurs pas suffisamment pris en compte : la discipline universitaire d'origine des enseignants, le type de classe dans lesquelles les élèves construisent eux-mêmes les modèles moléculaires (scientifiques, techniques, littéraires, etc.). De plus, la place du concept de modèle étant beaucoup plus explicite dans les énoncés de programmes actuellement en vigueur, il serait certainement intéressant de voir si les pratiques des enseignants ont été modifiées. Enfin, avec l'arrivée des TICE, les représentations infographiques des molécules sont maintenant courantes. L'enquête pourrait être reprise en mettant l'accent sur l'aspect infographie.

Weil-Barais (1994, p. 123) note qu'il « *serait utile également, pour la formation des enseignants, de connaître les conceptions sur les processus d'apprentissage et sur l'épistémologie de la physique sur lesquelles ils s'appuient, sans doute implicitement, dans leurs pratiques professionnelles* ». L'étude menée sur l'utilisation des modèles moléculaires par les enseignants de lycée s'inscrit dans cette perspective et tente d'amener les

³ GTD : Groupe Technique Disciplinaire, responsable de la rédaction des programmes scolaires après la réforme du système éducatif de 1989. Il est à noter que les disciplines physique et chimie sont alors séparées.

enseignants à prendre conscience des stratégies qu'ils utilisent pour envisager éventuellement d'en construire d'autres. Mais « *il conviendrait de développer des méthodologies qui n'expulsent pas les tâches pratiques que les enseignants ont à affronter. C'est en effet davantage les connaissances en acte qui sont intéressantes à connaître plutôt que les opinions sorties de leur contexte* » (Weil-Barais, 1994, p. 123).

1.1.3 Formation des maîtres et recherche en didactique des sciences

Dans le prolongement de ce travail de DEA, j'ai intégré une équipe de recherche (groupe « Médiation ») associant des formateurs IUFM, des chercheurs et des étudiants en thèse, sous la direction de Andrée Dumas-Carré et Annick Weil-Barais, recherche soutenue par l'IUFM de l'Académie de Versailles sur le thème de la tutelle et de la médiation dans l'enseignement et la formation. Deux programmes de recherche ont été menés par cette équipe :

- 1993-1995 : Essais d'objectivation et de transformation des pratiques médiatrices des enseignants dans l'éducation scientifique ;
- 1995-1997 : Tutelle et médiation dans l'enseignement et la formation.

Les séminaires ont permis aux membres du groupe de comparer et de discuter leurs points de vue théoriques, leurs problématiques, leurs travaux en cours dans la perspective de comprendre la spécificité des interactions didactiques dans l'enseignement des disciplines scientifiques.

Dans ce cadre, j'ai pu mener mon travail de doctorat centré sur les questions d'introduction de la didactique dans les formations délivrées par les IUFM et d'articulation entre théorie et pratique. Si on fait l'hypothèse que la transformation des pratiques passe par l'objectivation des interactions éducatives par les enseignants, la recherche en didactique peut apporter des outils pour analyser les pratiques de classe et particulièrement celles concernant la construction des connaissances dans les interactions didactiques. On est alors amené à considérer le rôle de l'enseignant sous un triple point de vue :

- épistémologique : les connaissances se construisent, doivent être validées et partagées par la communauté à un moment donné ;
- psychologique : théorie socioconstructiviste sur l'apprentissage ;
- de la communication : les significations sont construites au cours des interactions.

L'enseignant devient alors un tuteur et / ou un médiateur. Ces rôles apparaissant nouveaux, il convient de mettre en place un apprentissage et de proposer une formation aux enseignants notamment en formation initiale. L'objet de la recherche que j'ai menée visait à concevoir un dispositif de formation permettant l'apprentissage de ces rôles. J'ai ainsi conçu, mis en place et évalué une formation de professeurs stagiaires IUFM de physique - chimie développant des compétences à aider les élèves dans la construction de leurs connaissances, en particulier des compétences de type tutelle et médiation. Ce travail de recherche a permis de cerner les difficultés rencontrées par les stagiaires et de proposer un modèle d'accompagnement des maîtres en formation pour les aider à prendre conscience, à décrire et à discuter de leurs pratiques pour les faire évoluer vers des pratiques plus interactives, orientées vers la médiation. Cette recherche est présentée dans la première partie de cette note pour resituer le cadre théorique, la méthodologie et les résultats obtenus.

J'ai prolongé ce travail en testant une partie du dispositif auprès d'enseignants chevronnés pour voir dans quelle mesure ce type de formation pouvait être généralisé. Les limites en termes de prescription de ce genre de formation m'ont amené à m'intéresser aux « pratiques courantes » des enseignants en étudiant de près les activités de tutelle et de médiation d'un professeur de sciences physiques. Ces deux études figurent, elles aussi, dans la première partie du manuscrit.

Mon recrutement à l'IUFM d'Aix-Marseille en tant que maître de conférences m'a permis d'intégrer un laboratoire de recherche dans une équipe s'intéressant à l'éducation scientifique, technologique et professionnelle et travaillant avec des cadres théoriques que je n'avais pas fréquentés jusque là. Les collaborations mises en place à cette occasion m'ont amené à compléter, voire à modifier le cadre théorique dans lequel je travaillais. L'essentiel de cette réflexion est présenté dans la première partie de cette note. La recherche menée sur les usages des ordinateurs portables dans l'enseignement de la physique et de la technologie au collège constitue à cet égard un exemple du développement d'un nouveau cadre théorique, intégrant à la fois les concepts de transposition didactique, la théorie de l'activité et l'analyse des interactions didactiques en classe à l'aide des concepts de tutelle et de médiation scolaire.

Le travail de doctorat m'avait conduit à analyser le modèle d'activité de résolution de problèmes ouverts de physique développé par certains chercheurs en didactique des sciences. Mes activités d'enseignement et de formation des maîtres au sein de l'IUFM d'Aix-Marseille m'ont incité à poursuivre cette réflexion sur la place du problème dans les pratiques d'enseignement de la physique. L'apparition de nouvelles prescriptions dans les programmes scolaires ont conduit au développement d'un projet en collaboration avec Ludovic Morge autour de l'apprentissage de la physique-chimie par des démarches d'investigation. Nous avons collecté et analysé des travaux en didactique des sciences physiques et chimiques proposant des séquences d'enseignement, testées en classe, et pouvant être considérée, *a posteriori*, comme des séquences d'investigation. Nous avons ensuite modélisé ces séquences d'apprentissage par investigation scientifique permettant ainsi de traduire les résultats de nombreuses années de recherche en outils transposables dans les classes. Cette réflexion sur la démarche d'investigation est présentée dans la seconde partie de cette note de synthèse. Elle se poursuit actuellement au sein d'une petite équipe de chercheurs et d'enseignants de terrain dans le cadre d'un projet soutenu par l'INRP et l'IUFM d'Aix-Marseille.

Le développement d'une coopération étroite depuis quelques années avec des collègues de l'université de Patras m'ont permis d'ouvrir mon champ de recherche à l'enseignement des sciences au premier degré et de découvrir d'autres points de vue sur les recherches à propos de la formation des maîtres.

Par ailleurs, les difficultés de l'enseignement des sciences physiques à travers ma propre pratique et surtout des témoignages des enseignants et de leurs élèves fréquentés assidument dans le cadre de mes activités à l'IUFM m'ont conduit à m'interroger sur le phénomène de désaffection pour les études scientifiques. L'analyse de ce sujet de préoccupation internationale et des solutions envisagées à tous les niveaux amène à s'interroger sur la place des recherches en didactique des sciences face à ce phénomène, à questionner ma propre posture actuelle et à envisager un prolongement de mes recherches actuelles. Cette nouvelle orientation est développée dans la deuxième partie de ce manuscrit.

Mais avant de développer plus amplement tous ces aspects dans cette note de synthèse, ce premier contact avec la didactique des sciences amène à s'interroger sur les finalités et les cadres théoriques développés par cette discipline appartenant au champ des sciences humaines et sociales pour certains, et notamment aux sciences de l'éducation, ou au champ disciplinaire d'origine pour d'autres.

1.2 La didactique des sciences

La didactique des sciences s'intéresse en effet aux processus d'enseignement et d'apprentissage sous l'angle des contenus. Mais son domaine d'étude ne se réduit pas aux situations scolaires. Ainsi pour Astolfi et Develay (1991) « *elle s'intéresse à toutes les situations d'appropriation de savoirs scientifiques. Le musée, l'exposition, de même que les*

textes ou les documents iconiques en constituent d'autres exemples. » (p. 10). De plus, Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint (1997) distinguent clairement pédagogie des sciences et didactique des sciences : *« l'objet de la pédagogie des sciences concernait plutôt des questions relatives aux méthodes générales d'enseignement, mais appliquées au domaine scientifique »* (p. 67). Par ailleurs, cette centration sur les contenus n'est pas exclusive. *« Ce qui la [la didactique] fonde plutôt, c'est la prise de conscience qu'existent des difficultés d'appropriation qui sont intrinsèques aux savoirs, difficultés qu'il faut diagnostiquer et analyser avec une grande précision pour faire réussir les élèves. Les acquis de la didactique des sciences mettent en effet en évidence de nombreux obstacles, qui restent inapparents à l'analyse quotidienne des enseignants et des formateurs. Ils aident ainsi à mieux comprendre la réalité des processus d'apprentissage en sciences, car la tentation est toujours forte d'en attribuer les lenteurs ou les échecs à des caractéristiques personnelles aux élèves, comme leur manque d'efforts ou de motivation. On s'empêche alors d'y voir des problèmes⁴ « cachés dans les savoirs eux-mêmes », quand ce ne sont pas des difficultés involontairement introduites par les habitudes et les traditions d'enseignement, et que n'entame pas la succession des « modes pédagogiques ». »* (Astolfi et al., 1997, p. 5). La référence de la didactique d'une discipline est nécessairement cette discipline elle-même mais le rapport entre les deux est dialectique. *« Ce n'est donc pas un rapport unilatéral qui définit la réflexion didactique, mais bien une dialectique entre le savoir de référence à enseigner et à apprendre et les contraintes de cet enseignement et de cet apprentissage, contraintes liées, entre autres, aux composantes de la situation didactique inscrite dans un environnement social et physique »* (Jonnaert, 2001). Ainsi, Johsua et Dupin (1993) définissent la didactique d'une discipline comme *« la science qui étudie, pour un domaine particulier, les phénomènes d'enseignements, les conditions de la transmission de la « culture » propre à une institution (singulièrement ici les institutions scientifiques) et les conditions de l'acquisition de connaissances par un apprenant »* (p.2).

Les didactiques des sciences et des disciplines technologiques et leurs champs de recherches ne sont pas semblables (Martinand, 2002; Vander Borght, 2002). Les orientations sont diverses en fonction des questions traitées, des méthodologies et des cadres théoriques mais d'une manière générale, les réflexions portent sur l'appropriation d'un savoir particulier par un sujet apprenant et sur les processus à mettre en œuvre du côté de l'enseignant. La didactique d'une discipline emprunte des éléments à certaines disciplines des sciences humaines et sociales mais elle peut être caractérisée par trois dimensions (Martinand, 1987; Halté, 1992) :

- des recherches sur les contenus d'enseignement : la dominante de cette tendance est épistémologique. On y traite de questions sur l'épistémologie et les théories de la connaissance : représentations (souvent non conscientes) de l'enseignant et des élèves sur la science, la méthodologie de leur construction, leur organisation en curricula, leur histoire institutionnelle. Différents concepts sont utilisés : transposition didactique, pratique sociale de référence, matrice disciplinaire, trame conceptuelle, etc. ;
- des recherches sur les conditions d'appropriation des savoirs : la dominante est ici psycho-cognitive. On y trouve des réflexions sur la construction des concepts dans l'apprentissage (conceptions, représentations, modes de raisonnement des apprenants) et aussi des recherches sur les conceptions sur l'apprentissage (représentations, souvent non conscientes, de l'enseignant sur la façon dont on apprend), les conceptions sur l'enseignement ;

⁴ Pour Chevallard (1997b), *« la réduction pédagogique se fonde en effet sur le postulat que le savoir étudié n'est pas problématique, que le problème tient tout entier dans le rapport des élèves au savoir, lequel à son tour est subordonné au rapport de l'élève au maître »* (p. 48)... *« Or, toujours le savoir fait problème ... et la question décisive, à cet égard, est celle de la problématicité des savoirs »* (p. 49).

- des recherches sur l'intervention didactique : la dominante est ici pédagogique ou praxéologique. Les recherches portent sur l'organisation des situations d'enseignement, sur la construction de séquences didactiques (avec adaptation au type de public, à l'approche de la classe et de son fonctionnement propre). La communication scolaire et des concepts comme le contrat didactique ou le conflit sociocognitif y trouvent toute leur place.

On retrouve ces idées, sous une forme légèrement différente, chez Duit (2007) qui considère que les recherches en éducation scientifique reposent sur des analyses des contenus d'enseignement (« *subject matter clarification* » et « *analysis of educational significance* ») et des recherches sur l'enseignement et l'apprentissage (« *student learning* », « *teaching* », « *teachers' thinking and acting* », « *instructional media and methods* », « *student assessment* »). Mais Duit, considérant que les recherches en éducation scientifique ne sont pas les seules à intervenir dans le champ de la formation scientifique, ajoute un troisième domaine pour élargir le point de vue. Il s'agit des recherches traitant des aspects curriculaires et politiques (standards, littéracie scientifique, etc.) et de la formation des enseignants.

Dans une contribution à la réflexion épistémologique sur la recherche en didactique des sciences, Astolfi (1993) caractérise trois paradigmes à l'œuvre, le plus souvent de manière implicite, dans ce champ de recherche : recherches de faisabilité (recherches pragmatiques), recherches de signification (recherches herméneutiques) et recherches de régularités (recherches nomothétiques). Cet auteur aborde aussi les conceptions de la didactique à travers certains travaux « *pour montrer le large spectre des recherches dans ce domaine* » (Astolfi, 1994, p. 24). Ainsi, les recherches en didactique oscillent entre trois registres : spéculatif (production de données fiables), praxéologiques (proches « *des sciences de l'action* »), et axiologiques (« *porteuses de valeur, formatives et éducatives* »). Une autre distinction faite par Astolfi concerne le caractère théorique ou pragmatique des cadres de recherche. Enfin, certains travaux ont une visée critique alors que d'autres ont un caractère propositionnel.

Un numéro spécial de la revue Aster (1998) fait le point sur les thèmes de recherche et les tendances de la réflexion menée dans le champ de la didactique des sciences et de la technologie. A partir d'une étude des thèses francophones soutenues en didactique de la physique et de la chimie, Beaufils (1998) brosse un portrait de ce champ de recherche pour les vingt dernières années du XX^{ème} siècle. Trois types de travaux sont repérés même si la séparation n'est pas toujours nette dans les études menées : explicitation des conceptions et des raisonnements des élèves ou étudiants dans différents domaines de la physique et de la chimie ; définition de contenus enseignés ou à enseigner ; questions d'enseignement et de formation des maîtres. La première série de travaux fondés sur des approches empiriques a contribué à un repérage des difficultés d'apprentissage et a conduit à des propositions pédagogiques souvent expérimentées. La question des programmes scolaires et de leur mise en œuvre dans les classes est au cœur de la deuxième série de travaux. L'analyse repose souvent sur le concept de transposition didactique ou de pratique sociale de référence. La troisième série de travaux concerne plus précisément l'enseignement, les aides didactiques possibles et la place de la didactique dans la formation des maîtres. Mais Beaufils note que « *l'étude du fonctionnement de fait de l'enseignant n'en est qu'à ses débuts* » (p. 35). On retrouve dans cette typologie les trois dimensions de la recherche en didactique des sciences évoquées précédemment.

L'élève envisagé dans tous ces travaux est un sujet épistémique. « *A la recherche de caractérisation des élèves, de leurs conceptions, de leurs processus de pensée, le chercheur a considéré sans toujours s'en rendre compte les élèves dans leur réalité comme un élève unique indifférencié. Cette démarche de recherche d'invariants est en soi tout à fait légitime, surtout lorsqu'un domaine de recherche se crée. Toutefois, la réalité de l'enseignement et du processus d'enseignement-apprentissage bute sur la réalité des élèves et sur la réalité des enseignants* » (Caillot, 2001, p. 147). Cette absence de prise en compte des différences individuelles serait une spécificité française que l'on ne retrouve pas dans les

pays anglo-saxons ou scandinaves dont les recherches se situent souvent dans une perspective multiculturaliste et communautariste. Les limites de cette modélisation purement cognitive de l'élève sont discutées par la non prise en compte des finalités éducatives poursuivies ou encore par l'absence des dimensions identitaires et sociales du sujet apprenant (théories du rapport au savoir : Charlot, 1997).

Tozzi (1997) propose « *une problématique qui tente d'articuler – car il peut y avoir tension entre finalités distinctes – une logique épistémique et une logique socialisante et civique des contenus ... ce qui apprend à être citoyen, ce sont moins des contenus que des pratiques de vie scolaire dans la classe ou au sein de l'établissement* ». Il envisage d'intégrer la didactique dans une visée politique car « *elle médiatise concrètement la relation aux savoirs* », ajoutant que « *la socialisation passe en effet par le savoir comme outil d'expression et d'acculturation, objet d'échange et d'ouverture entre les hommes* ». De son côté, Develay (1997) note l'absence des réflexions éthiques dans certains travaux de didactique qui cherchent alors à conceptualiser des processus d'enseignement et non des processus d'éducation. Cet auteur pense le projet didactique comme devant permettre de comprendre le rapport au savoir de l'élève à partir de questionnements anthropologiques, épistémologiques et éthiques. On retrouve cette dimension éthique chez Martinand (2002) qui critique « *les didactiques presque exclusivement pensées comme didactiques de discipline et non comme recherche en éducation orientée par une responsabilité sur les contenus éducatifs* » (p. 125). Cette question semble aussi prise en compte dans les recherches allemandes en didactique des sciences qui reposent sur la tradition éducative germanique du « *Bildung* » et du « *Didaktik* » (Duit, 2007). Derrière le concept de « *Bildung* » figure en effet l'enjeu éducatif essentiel de développement de la personnalité de l'apprenant.

Dépasant le modèle du sujet épistémique, « *la théorie anthropologique du didactique* » développée par Chevallard (1991, 2003), développée initialement en didactique des mathématiques, tente de prendre en compte les différences individuelles. Cette théorie distingue le rapport personnel aux objets de savoir construit par un sujet dans une institution donnée et le rapport institutionnel aux savoirs.

En fait, il semble que les problématiques des recherches en didactique des sciences évoluent vers un nouveau paradigme en tentant de prendre en compte ces remarques. En effet, s'il existe un rapport dominant au savoir, il existe aussi un rapport à des savoirs particuliers (Charlot, 2003) ce qui permet d'envisager l'utilisation de ce concept dans le domaine de la didactique des disciplines. Ainsi, plusieurs travaux récents (Caillot, 2001; Chartrain, 2003; Goffard, 2000; Mairone, 2009; Mairone & Dupin, 2008; Venturini, 2005; Venturini & Albe, 2002) montrent que l'apport du rapport au savoir permet de traiter l'implication de l'élève.

Concernant le problème des enjeux sociaux de la recherche en didactique des sciences, Vander Borgh (2002) repère trois finalités des enseignements et des apprentissages en sciences : « *utilitaire (si l'on envisage plutôt l'efficacité de l'enseignement/apprentissage), démocratique (si l'on envisage plutôt l'éducation) ou éthique (si l'on envisage plutôt l'explicitation des valeurs)* » (p. 131). Dans une revue des questions actuelles traitées dans ce champ de recherche en Europe, Méheut (2006) évoque la perspective épistémique mais aussi la perspective sociétale (« *il s'agit de permettre à un maximum de personnes de jouer pleinement leur rôle de citoyen de sociétés scientifiquement et techniquement avancées* », p. 55). Plusieurs directions de recherche sont repérées par cet auteur. Il s'agit de réfléchir aux apprentissages à favoriser : apprentissages conceptuels, développement de démarches scientifiques et de compétences argumentatives. L'apport spécifique des technologies informatiques à l'enseignement des sciences (saisie et traitement de données, simulations) est aussi interrogé. Les facteurs susceptibles d'accrocher l'intérêt des jeunes pour les études scientifiques sont également étudiés. Enfin, plusieurs courants de recherche s'intéressent à la diffusion de nouvelles approches de l'enseignement des sciences et à la formation des maîtres (conceptions sur la science et son enseignement, savoirs professionnels, appropriation des innovations). Au panorama de Méheut, ajoutons que la perspective

sociétale amène certaines recherches à s'intéresser aux relations science, technologie et société comme les travaux sur les questions scientifiques socialement vives (Albe, 2007; Cavet, 2007; Lewis & Leach, 2006; Sadler & Donnely, 2006). De plus, un autre courant de recherche étudie la place de l'argumentation en classe de sciences en tant qu'objet d'apprentissage ou en tant que moyen d'apprentissage (Buty & Plantin, 2008; Douaire, 2004; Muller Mirza, 2008). Mais pour Méheut, « *les recherches en didactique visent à ouvrir des perspectives, à apporter des informations sur la faisabilité et les effets de différents types de démarches d'enseignement. Il s'agit, en s'appuyant sur d'autres disciplines, en particulier la psychologie, la philosophie et l'histoire des sciences et la linguistique, d'explorer les potentialités de divers types de ressources et de modalités d'enseignement, pour améliorer le confort des apprenants, leur motivation, leur plaisir d'apprendre, leur image des activités scientifiques et l'efficacité des dispositifs d'enseignement-apprentissage en termes de développement de compétences* » (2006, p. 55). On retrouve cette idée d'interdisciplinarité dans le modèle proposé par Duit, Gropengiesser et Kattmann (2005) : « Model of Educational Reconstruction ».

Cependant, les relations entre la recherche en éducation scientifique et les pratiques éducatives ou les politiques éducatives sont complexes et elles ne sont pas sans conséquences sur l'amélioration de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences.

1.3 Didactique des sciences et enseignement des sciences physiques dans l'enseignement secondaire français : vers de nouvelles orientations de recherche

Depuis quelques années, les insuffisances de la recherche en éducation constituent un thème majeur des débats agitant la communauté mondiale de l'éducation (OCDE, 2007a). La recherche en éducation est invitée à répondre à la fois aux besoins de l'institution et aux attentes des acteurs (Prost, 2001). Il s'agit en effet d'améliorer les pratiques pédagogiques et la prise de décision dans l'éducation (Normand, 2006). Dans les pays anglo-saxons, la pression est même forte pour développer des travaux efficaces et scientifiquement rigoureux. Ainsi, au début des années 2000, pour la législation des États-Unis, la recherche en éducation doit privilégier des dispositifs expérimentaux ou quasi expérimentaux fondés sur des preuves plutôt que sur des méthodes jugées moins rigoureuses. L'ambition affichée est l'élaboration de standards et la diffusion de « bonnes pratiques » (Normand, 2006). Mais l'objectif de la recherche en éducation est-il de comprendre l'activité d'enseignement ou bien d'identifier les « bonnes » pratiques ? La recherche doit-elle produire des résultats que la pratique doit mettre en œuvre ? Les injonctions des politiques éducatives peuvent-elles se prévaloir d'études longitudinales et expérimentales, quand on sait qu'il n'y a pas une situation d'enseignement type, reproductible ? (Dupriez & Chapelle, 2007). La polémique autour de la notion de « bonne » recherche en éducation est grande et notamment autour de la notion de « Evidence Based Education » (Rey, 2006). La question n'est pourtant pas nouvelle (Hadjji & Baillé, 1998) et elle a le mérite d'interroger les méthodologies à l'œuvre (quantitatives, qualitatives) dans ces recherches. De même, la part de l'idéologie dans ce champ de recherche, les notions d'objectivité, de preuve ou de certitude scientifique sont aussi discutées (Rey, 2006; Hadji & Baillé, 1998). En fait, ce débat pose des questions sur les types de liens existants entre la recherche en éducation et les pratiques éducatives ou entre la recherche et les politiques éducatives.

Ce débat touche aussi les recherches en éducation scientifique (Brickhouse, 2006; Millar, Leach, Osborne & Ratcliffe, 2006) mais il ne semble pas avoir cours dans le cadre des recherches françaises en éducation scientifique. Ainsi Johsua et Dupin (1993, p. 8) avancent que « *la didactique ne se veut pas une science normative et prescriptive qui aurait pour objet de dire le bien et le mal en matière d'enseignement* ». Weil-Barais et Goffard (2005) ajoutent que les recherches dans ce domaine « *se préoccupent des problèmes pratiques des enseignants et des difficultés rencontrées par les élèves* » (p. 15). Les curricula et les outils

produits « *sont conçus, non pas comme des applications de la recherche, mais comme des réalisations possibles de principes généraux dérivés de théories et de modèles de l'enseignement et de l'apprentissage ... Cette conception très particulière de la recherche place les enseignants ou les formateurs, non pas dans une position « d'applicateurs », mais dans une posture d'acteurs à part entière, impliqués dans la conception et l'évaluation des outils ... Cette double référence (la recherche et la pratique enseignante) offre des garanties quant aux analyses et aux propositions qui sont faites* » (p. 15).

Malgré l'énoncé de ses principes, il semble que décideurs institutionnels et politiques ignorent encore bien souvent les résultats des recherches en didactique des sciences et l'idée qu'il suffit de bien maîtriser la matière pour bien l'enseigner est toujours assez répandue (Weil-Barais & Goffard, 2005). Certes, certains résultats des travaux de recherche ont été adoptés par l'institution. Par exemple, les programmes français actuels d'enseignement des sciences physiques prennent en compte les notions de conception ou de raisonnements spontanés des élèves. De même, la place de l'expérience et des démarches scientifiques sont discutées et de nouvelles pratiques d'enseignement sont proposées. Mais les différentes prescriptions, qu'elles soient d'origine institutionnelle (Instructions officielles, corps d'inspection) ou issues de la recherche en éducation ont encore peu d'effets sur les pratiques d'enseignement des sciences. Une rupture existe encore entre les résultats des travaux de recherche et leur mise en œuvre effective dans les classes et dans les pratiques professionnelles des enseignants. Est-ce un problème d'efficacité et de pertinence de la recherche, un problème de diffusion des résultats des travaux de didactique des sciences ou bien un problème de formation des maîtres ? D'où viennent ces difficultés ? Pour Martinand (1994a, p. 73), « *ce qui rend au fond difficile « l'injection » des acquis de la recherche didactique dans la formation des maîtres, c'est que la recherche a trop tendance à se placer en fondatrice de l'enseignement et de la formation, oubliant qu'elle n'est qu'un des processus sociaux qui intervient sur le même champ.* ». Cet auteur invite à penser la formation comme un problème et non comme une application. La recherche doit tenir compte de la pratique enseignante (et non l'inverse). Il repère trois orientations didactiques coexistant qu'il conviendrait d'articuler en formation : l'orientation didactique « praticienne », l'orientation didactique « normative » et l'orientation critique et prospective. Des tentatives ont été faites ces dernières années (Saint-Georges, 1996; Morge, 1997; Boilevin, 2000) pour prendre en compte ce changement de perspective et d'orientation des travaux de recherche mais la portée de ces travaux reste encore limitée.

Il semble pourtant que les recherches en didactique des sciences puissent participer à la réflexion sur les modifications à apporter à l'enseignement des sciences (Beorchia & Boilevin, 2009; Boilevin & Ravanis, 2007; Méheut, 2006). Plusieurs directions envisagées actuellement par les décideurs et les institutions semblent questionner particulièrement ce champ de recherches : une refondation partielle des disciplines scolaires scientifiques (enseignement intégré de science et technologie, éducation à – la citoyenneté ou à l'environnement et au développement durable, etc.), une modification des méthodes d'enseignement (démarche d'investigation) ou encore la place des technologies de l'information et de la communication. Mais ces orientations supposent une réflexion historique, épistémologique et didactique sur les sciences et sur les enjeux de cet enseignement. Ces questions sont abordées dans la première partie de cette note de synthèse à partir de la discussion de certains cadres théoriques et de concepts de la didactique des sciences ainsi qu'à travers la présentation de résultats de recherche sur les apprentissages en sciences physiques, sur les interactions didactiques en classe de sciences et sur la place de la didactique des sciences dans la formation des maîtres.

Par ailleurs, depuis quelques années, un important débat de société a lieu à propos de l'enseignement des sciences. En effet, dans de nombreux pays développés, les effectifs étudiants sont en régression dans les domaines scientifiques. Cette baisse préoccupante risquerait, d'une part de mettre en danger le renouvellement des cadres scientifiques et

techniques et, d'autre part de creuser le fossé entre le grand public et les experts. On parle alors de la désaffection des sciences ou de la désaffection pour les études scientifiques par les lycéens et surtout les étudiants. Que cachent réellement ces expressions ? Décrivent-elles une réalité objective ou bien la situation est-elle plus complexe qu'il n'y paraît au premier abord. Quelles sont les raisons de ce phénomène et les solutions envisagées ? Du côté de l'institution, de nombreux rapports ont été publiés au niveau international et en France. Mais la recherche en éducation a elle aussi étudié la question. Le chapitre 6 présente et analyse les contenus de ces rapports ainsi que certaines des recherches menées sur le sujet, en insistant particulièrement sur l'enseignement de la physique-chimie.

Parmi les facteurs pédagogiques et didactiques invoqués pour expliquer la désaffection des jeunes pour les études scientifiques, on trouve l'image de la science véhiculée par l'enseignement scolaire peu enthousiasmante ou encore des programmes peu ancrés sur la vie quotidienne et des méthodes pédagogiques trop académiques et rigides. Le problème de l'intérêt des élèves pour les sciences à l'école se pose alors à travers notamment les questions de la motivation et des attitudes envers les sciences. C'est l'objet du chapitre 7.

Parmi les facteurs principaux favorisant une attitude positive des élèves envers l'enseignement des sciences, figurent la nature du curriculum et l'environnement scolaire. Il reste à trouver des dispositifs didactiques permettant d'atteindre cet objectif et de modifier le rapport des élèves à l'enseignement scientifique. Parmi les nouvelles démarches d'enseignement préconisées en France figurent en particulier la démarche d'investigation et l'enseignement intégré de science et technologie qui semblent de bons candidats. Le premier type de dispositif nécessite une modification profonde de la relation didactique en repensant la place des élèves et celle de l'enseignant. Des recherches semblent donc nécessaires pour repérer les difficultés éventuelles des enseignants et des élèves pour mettre en œuvre cette nouvelle pratique d'enseignement-apprentissage dans une perspective de formation des maîtres. Il s'agit de repérer, d'explicitier les décalages entre curriculum prescrit et curriculum réel en observant et en analysant les tâches construites, les pratiques réelles en classes et notamment les interactions didactiques. Ce nouveau champ de recherche est présenté et discuté au chapitre 8.

Le chapitre 9 dresse, quant à lui, une synthèse de mon parcours de recherche - des objectivations des pratiques enseignantes de type tutelle et médiation dans l'éducation scientifique en passant par l'analyse de la place du problème dans l'enseignement de la physique à des travaux sur des démarches d'enseignement-apprentissage des sciences physiques plus générales comme celle fondée sur l'investigation – et il présente les perspectives de recherches futures.

Partie 1

Enseignement des sciences physiques : éclairage de la didactique des sciences

Il ne s'agit pas dans cette partie de réaliser une étude exhaustive des recherches menées en didactique des sciences depuis une trentaine d'années mais de mettre l'accent sur certaines orientations et certains concepts permettant de décrire le cadre dans lequel un système d'enseignement gère les relations aux savoirs et de définir ainsi un cadre théorique possible pour étudier les prescriptions concernant l'enseignement des sciences physiques dans le secondaire et leur devenir en situation de classe.

Nous avons déjà évoqué les caractéristiques générales des recherches en didactique des disciplines qui visent les contenus d'enseignement, les conditions d'appropriation des savoirs et l'intervention didactique.

Au-delà des concepts de transposition didactique et de contrat didactique, les connaissances disponibles sur les conceptions et les modes de raisonnement des élèves sont maintenant bien reconnues et les données empiriques nombreuses (Duit, 2007; Lautrey, Rémi-Giraud, Sander & Tiberghien, 2008). Les résultats de ces travaux apportent des informations précieuses sur la façon dont les élèves se représentent les phénomènes et sur leur manière de les interpréter (par exemple, Méheut, 2006; Tiberghien, 2008; Viennot, 1996). Pour Johsua et Dupin (1993), la problématique de ces recherches était centrée sur un des problèmes majeurs de l'apprentissage scientifique : comment amener un élève à construire des rapports nouveaux à des savoirs nouveaux alors que des rapports anciens à des savoirs anciens peuvent s'ériger en obstacles à l'évolution nécessaire. Pour ces auteurs, une des orientations principales des travaux en didactique des sciences a été de générer du sens dans les situations proposées aux élèves. Suivant les recherches, des directions différentes ont été explorées (appui sur la vie quotidienne des élèves, travail sur les représentations cognitives et leurs développement, choix didactiques et cadre institutionnel où ils prennent racine, etc.) et certains de ces travaux ont donné naissance à de l'ingénierie didactique.

Dans une revue de questions, Méheut (2006) note que l'arrivée des outils informatiques fait évoluer la formation scientifique vers des apprentissages cognitifs de plus haut niveau. Les recherches s'intéressent ainsi au développement des types de compétences cognitives comme la conceptualisation, la modélisation, la résolution de problèmes, les démarches scientifiques, etc. Ces travaux s'inscrivent dans une réflexion globale sur les finalités des enseignements scientifiques (question ne dépendant d'ailleurs pas seulement du cadre de la didactique) et de nouvelles orientations curriculaires. Il s'agit alors d'adopter une perspective sociétale où sont visées, à côté des savoirs scientifiques, des connaissances sur la nature de la science et son fonctionnement, la capacité argumentative, pour « *permettre à un maximum de personnes de jouer pleinement leur rôle de citoyen de sociétés scientifiquement et techniquement avancées* » (p. 55). Pour cet auteur, « *les recherches en didactique visent à ouvrir des perspectives, à apporter des informations sur la faisabilité et les effets de différents types de démarches d'enseignement.* » La problématique générale des recherches en didactique des sciences s'articule, pour Méheut, autour de la question des apprentissages à favoriser, des apports spécifiques des outils informatiques, de la motivation des élèves et de la formation des enseignants pour assurer la diffusion de nouvelles approches de l'enseignement des sciences.

Cette première partie de la note de synthèse est l'occasion de présenter les cadres théoriques sur lesquels reposent les recherches que nous avons menées jusqu'alors, axées principalement sur les contenus d'enseignement et sur les interventions didactiques.

Le chapitre 2 aborde le concept de transposition didactique alors que les chapitres suivants présentent les principaux résultats de nos travaux en les resituant dans le cadre plus général des recherches en didactique des sciences. Ainsi, le chapitre 3 s'intéresse aux finalités de l'enseignement des sciences et étudie quelques unes des activités possibles pour permettre l'apprentissage des sciences physiques : activité expérimentale, activité de modélisation, activité de résolution de problème. Le chapitre 4 est consacré aux recherches sur les interactions didactiques en classe de sciences. Le chapitre 5 aborde, quant à lui, les relations entre didactique des sciences et formation des enseignants à travers plusieurs études que nous avons menées.

2 Transposition didactique élargie

Lorsqu'on s'intéresse à l'enseignement d'une discipline scolaire, la question de sa relation avec les disciplines scientifiques de référence se pose inévitablement. Hasni (2006) rappelle que, longtemps, l'enseignement des sciences a été considéré comme une introduction des élèves aux disciplines scientifiques de référence. A partir d'une analyse d'écrits en didactique mais aussi en sociologie et histoire de l'éducation, il montre que la discipline scolaire n'entretient pas des liens directs avec les disciplines scientifiques de référence. Il précise que l'écart entre le savoir scientifique de référence et le savoir scolaire est étudié principalement à l'aide du concept de « *Pedagogical Content Knowledge* »⁵ dans le monde anglophone alors que le monde francophone s'appuie plutôt sur le concept de transposition didactique. Ce dernier, apparu initialement en didactique des mathématiques, semble en effet pertinent pour les champs de recherche en éducation scientifique en prenant cependant en compte quelques contraintes complémentaires.

2.1 La transposition didactique

Pour Johsua et Dupin (1993, p. 4), « à la base d'un enseignement de type scolaire, il y a la mise en relation de trois éléments : l'élève, le professeur, un savoir. Ceux-ci ont des histoires et des déterminations particulières qui les structurent dans une autonomie partielle les uns par rapport au autres ». En particulier, le savoir subit des modifications avant et au cours de son introduction dans cette structure didactique (ou système didactique) se déployant dans une temporalité particulière (le temps didactique). Cet « apprêt » du savoir à enseigner ne peut se résumer à une « simplification ». La description de ce phénomène constitue la transposition didactique, concept devenu d'usage courant dans les diverses didactiques des disciplines et en sciences de l'éducation. Développé par Chevallard (1985, 1991) dans le champ de la didactique des mathématiques, il tient son origine dans le travail sociologique de Verret (1975) consacré à l'enseignement de la philosophie. Pour cet auteur, le phénomène de transposition porte sur les savoirs qui subissent des transformations nécessaires afin d'être transmis. Le savoir mobilisé au cours de cette transmission diffère d'une part, du savoir mobilisé dans la transmission scientifique, et d'autre part, du savoir tel qu'il est inventé ou tel qu'il est mis en œuvre. Cette transposition est soumise à un ensemble de contraintes à propos de la nature du savoir mobilisé, du statut des destinataires de la transmission et du contexte institutionnel des pratiques de transmission. Pour Verret, tous les savoirs ne sont pas scolarisables et doivent présenter les caractéristiques suivantes : la désyncrétisation, la dépersonnalisation, la programmabilité, la publicité et le contrôle social des apprentissages.

Pour Chevallard (1991, p. 39), « un contenu de savoir ayant été désigné comme savoir à enseigner subit dès lors un ensemble de transformations adaptatives qui vont le rendre apte à prendre place parmi les objets d'enseignement. Le " travail " qui, d'un objet de savoir à enseigner, fait un objet d'enseignement est appelé la transposition didactique ». Reprenant à son compte les contraintes énoncées par Verret, il précise les règles auxquelles obéit la transposition didactique : la modernisation nécessaire du savoir scolaire (mise à jour des contenus d'enseignement pour les rapprocher de l'état des savoirs universitaires), la lutte contre l'obsolescence didactique (le vieillissement du savoir savant vis-à-vis de l'environnement du système éducatif), l'articulation du nouveau et de l'ancien, l'aptitude à se traduire en exercices et en leçons, une arme contre l'échec de l'enseignement d'une notion.

⁵ Le concept de *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) ou *connaissance pédagogique du contenu* est proposé par Shulman (Shulman, 1987, 1999, cité par Hasni, 2006; Méheut, 2006; Kermen & Méheut, 2008).

Cette transposition est un phénomène normal auquel nul ne peut échapper lorsqu'il veut transmettre un savoir. Ni « bonne », ni « mauvaise », la transposition didactique est inévitable. Elle crée un cadre nouveau, enserré dans des contraintes bien précises qu'il s'agit d'identifier pour les maîtriser.

La question des rapports du système didactique, intégré à un système d'enseignement, à son environnement social amène Chevallard à reprendre le terme de noosphère, introduit par Teilhard de Chardin, pour désigner « la sphère où l'on pense ». Cette formation sociale, à l'œuvre dans les coulisses de l'enseignement, régule les relations entre la société et le système éducatif. De plus, les objets de savoir à enseigner proviennent des institutions de production scientifique et se trouvent qualifiés pour cette raison de savoirs savants. Ainsi, la transposition externe, désignant la transposition des savoirs savants aux savoirs à enseigner, dépend de la noosphère alors que la transposition interne dépend, quant à elle, des adaptations particulières des savoirs à enseigner par chaque enseignant mais aussi des concepteurs de manuels, des associations de spécialistes et même de certains didacticiens. Ajoutons que l'élaboration des savoirs savants, au sein de la communauté scientifique, s'appuie sur une division en champs de savoirs autonomes (désynchronisation). Chevallard (1991) attire l'attention sur certaines contraintes à l'œuvre dans l'apprêt didactique qui interviennent dans la publicité du savoir : la dépersonnalisation et la décontextualisation. La mise en texte du savoir débute ainsi dans la communauté scientifique lors de la diffusion des résultats des recherches. Elle continue pendant la construction des programmes d'enseignement qui prennent en compte la programmabilité des apprentissages.

Ce cadre, défini initialement pour la didactique des mathématiques, est devenu une référence pour d'autres disciplines (Arsac, Chevallard, Martinand & Tiberghien, 1994) et il a permis le développement de nombreux travaux (par exemple, en sciences expérimentales : Fréchengues, 1999; Johsua, 1994; Loumouamou, 1998; Ozgur, 2001; Richoux, 2000; Tiberghien, Arsac & Méheut, 1994 ou bien en sciences économiques et sociales : Dollo, 2001). Il a contribué à associer la notion de transposition aux savoirs dits « savants », ceux dont se réclament les disciplines scolaires, notamment en mathématiques, en sciences expérimentales et en sciences humaines et sociales. Notons que Halbwachs (1975) avait déjà distingué, dans le domaine de la physique, la physique du physicien, la physique du maître et la physique de l'élève pour « *tenter d'éclairer le double problème du contenu et de la finalité de la discipline considérée* » (p. 19). Ajoutons que cette idée de transposition existe aussi dans la tradition éducative germanique. Le concept de « Didaktik » concerne en effet l'analyse du processus de transposition que subissent les savoirs d'un domaine particulier (l'héritage culturel) pour devenir des savoirs scolaires contribuant au développement de la personnalité des élèves (« Bildung »). Ce processus s'appuie sur deux phases distinctes : « elementarization » et « construction of content structure for instruction » (Duit, 2007). De son côté, Perrenoud (1984, 1998) évoque, dans le champ de la sociologie du curriculum, la transposition pragmatique pour montrer que le curriculum réel n'est pas seulement une interprétation du curriculum formel.

Ainsi, les savoirs à enseigner ne s'imposent pas d'eux-mêmes, mais ils sont toujours reconstruits et axiomatisés, en fonction de besoins didactiques et sociaux. La transposition est telle que l'on aboutit quelquefois à la création originale de nouveaux objets de savoir, qui n'ont pas, comme tels, d'équivalents dans le savoir savant (c'est le cas par exemple en physique de la « mécanique sur coussin d'air » ou encore des chaînes énergétiques).

2.2 La question de la référence

Chevallard centre son approche sur les savoirs qualifiés de savants alors que Verret analyse les rapports entre objet d'enseignement et pratiques de constitution et d'exploitation de ces objets. Discutant cette notion de « savoir savant », certains auteurs ont tenté d'élargir la

théorie de la transposition didactique⁶. En effet, la plupart des didacticiens s'entendent sur l'origine externe de la référence des savoirs choisis pour être introduits à l'école⁷. Mais pour Chevallard (1991), la légitimité de ce qui est enseigné se fonde sur la référence savante (légitimité épistémologique). « *Un savoir peut donc être utilisé, enseigné, produit. Sur tous ces points, les savoirs se distinguent des « systèmes institutionnels de connaissance », que l'on pourrait appeler encore – l'expression est, je crois, de Pierre Bourdieu – des savoirs pratiques, lesquels sont mis en œuvre, s'apprennent, s'enrichissent, sans pour autant être utilisés, enseignés, produits* » (p. 211).

Cependant, de nombreux auteurs questionnent cette position sur la légitimité épistémologique, le nombre de disciplines scolaires pouvant se prévaloir d'une référence savante étant limité. Ils font remarquer que les savoirs mobilisés dans les programmes d'enseignement de certaines disciplines ne sont pas toujours produits dans le champ scientifique et qu'ils peuvent provenir d'autres champs de production de connaissances. Par exemple, Caillot (1996) discute les limites du concept de transposition didactique à la lumière des travaux en didactique d'autres disciplines que les mathématiques. Il montre en particulier, à partir d'une analyse des programmes français de sciences physiques (Bulletins officiels de l'Éducation nationale de 1992) comment d'autres références que le savoir savant sont pris en compte par les concepteurs de curricula. En effet, ces programmes introduisent pour la première fois la notion de « compétence attendue » vue comme « des connaissances, des savoir-faire et des méthodes ». Caillot montre alors que la nature des contenus d'enseignement diffère selon que leur référence figure dans les savoirs savants (la physique) ou dans des pratiques socialement attestées et identifiées (la chimie). La différence est aussi d'ordre épistémologique, la physique étant une discipline tournée vers l'*épistémê* alors que la chimie est plus tournée vers la *tekhnê*.

Quoi qu'il en soit, cette polysémie de la référence interroge la fonction et le rôle de l'école et sa responsabilité dans le champ social (Terrisse, 2001).

2.2.1 Les pratiques sociales de référence

Examinant de quelle manière des activités de recherche scientifique, des activités de production industrielle ou artisanale, des activités d'ingénierie, des activités domestiques, des activités culturelles ou idéologiques, peuvent servir de référence à des activités scientifiques scolaires, Martinand (1985) met en évidence l'existence d'autres sources d'emprunt que les savoirs savants qu'il qualifie de pratiques sociales de référence et plus tard de pratiques de référence (1989, 2001). Parler de pratique sociale de référence signifie que la construction des contenus d'enseignement ne saurait s'en tenir à une simple réduction ou adaptation d'un savoir universitaire, et qu'il existe une grande variété de pratiques sociales qui mettent en œuvre diversement une même notion scientifique. « *Une pratique sociale de référence renvoie aux trois aspects suivants : ce sont des activités objectives de transformation d'un donné naturel ou humain (pratique) ; elles concernent l'ensemble d'un secteur social, et non des rôles individuels (sociale) ; la relation avec les activités didactiques n'est pas d'identité : il y a seulement terme de comparaison (de référence)* » (Martinand, 1986, p. 137). De ce point de vue, un programme d'enseignement ne se réduit pas à une simple réduction ou adaptation du « savoir savant » en savoir à enseigner. Il convient de ne pas oublier les activités sociales correspondantes. Les conditions d'obtention et d'utilisation des savoirs sont aussi importantes que ces derniers. Ainsi, on peut faire appel à des pratiques de référence variées (la recherche scientifique, l'ingénierie, voire les activités domestiques). Ce point de vue amène à accorder une grande

⁶ Remarquons que selon les auteurs, on parle de concept, de modèle ou de théorie de la transposition didactique sans toujours prendre des précautions quant à ce glissement terminologique.

⁷ Certains auteurs contestent cette position. Ainsi, pour Chervel (1998) l'histoire d'une discipline scolaire peut se comprendre de l'intérieur même de l'institution scolaire (« auto-référence scolaire »).

importance aux « référents empiriques » et à leurs relations avec le savoir (Martinand, 1985). Cet auteur ajoute que les pratiques de référence ne sont pas forcément actuelles et qu'elles peuvent être virtuelles (Martinand, 2001). Mais dans tous les cas, elles doivent être objectivées et modélisées. Toutefois, Bronckart et Plazaola Giger (1998) doutent que les programmes d'un système d'enseignement puissent s'inspirer directement des pratiques. L'emprunt n'est-il pas nécessairement médiatisé par les représentations des pratiques que l'on souhaite voir développer par les élèves, « *représentations (ou connaissances) qui tendent inéluctablement à s'organiser en savoirs* » (p. 40).

2.2.2 Les savoirs experts et les savoirs professionnels

Johsua (1996, 1997, 2002) propose d'étendre le concept de transposition didactique aux savoirs experts alors que Rogalski et Samurçay (1994) ainsi que Raisky (1996) y ajoutent les savoirs professionnels.

Pour Johsua (1996, p. 65-66), « *le cadre scolaire est lié à une intention organisée d'enseignement et donc à une transposition didactique de savoirs, fut-ce de savoirs sur la pratique ... ce sont bien les savoirs qui sont transposés, non ces pratiques elles-mêmes* ». Ce point de vue est partagé par certains didacticiens de la technologie (Brandt-Pomares, 2003; Ginestié, 2000, 2008a, 2008b) pour qui ce sont bien des savoirs sur les pratiques qui sont en jeu dans les enseignements technologiques et non des pratiques. Johsua (2002) distingue en fait trois types de savoirs de référence qui font l'objet d'enseignement : « *les savoirs savants qui sont ceux pour lesquels la société donne le droit de dire le vrai à une communauté restreinte (les mathématiques, la physique, etc.), les savoirs experts qui sont l'apanage d'une petite communauté mais dans laquelle personne n'a le monopole de dire le vrai (par exemple comment enseigner les mathématiques) et les savoirs personnalisés qui au début sont l'apanage de quelques individus (voir le cas prototypique du « saut à la Fosbury » par exemple). On peut montrer, même en mathématiques, que les savoirs enseignés dans les classes résultent de la transposition de l'ensemble de ces trois types de transposition* » (p. 22-23). On voit que la distinction est de nature institutionnelle car pour Johsua (1996), les institutions où vivent ces types de savoir diffèrent en termes de reconnaissance sociale. Cet auteur souligne de plus l'existence d'une différence qualitative supplémentaire. Les savoirs savants sont en effet très fortement dépersonnalisés alors que « *les savoirs experts gardent au contraire une proximité beaucoup plus grande avec les groupes physiquement repérables qui en garantissent l'expertise* » (1996, p. 68). Ce point de vue est partagé par Tochon. Analysant les cadres conceptuels de recherche sur la connaissance pratique des enseignants (1992), cet auteur définit des éléments de l'expertise dans ce métier à partir d'études menées dans d'autres secteurs professionnels (1989). Ainsi, l'expertise est spécialisée et concerne la connaissance spécifique d'un domaine. Tochon précise que la connaissance de l'expert est organisée en fonction des capacités d'interpréter les faits et d'être efficace. Finalement, Tochon (1993) considère les savoirs experts comme des savoirs théorisés sur les pratiques des experts.

Pour Raisky (1996), les savoirs professionnels transmis par l'école sont constitués de savoirs scientifiques, de savoirs techniques et de savoirs pratiques. De leur côté, Rogalski et Samurçay (1994) montrent que les savoirs de référence ne sont pas jugés à l'aune d'une validité théorique, mais de leur efficacité pratique. Leur pertinence pour l'action importe plus que leurs fondements scientifiques. Ces auteurs évoquent alors des savoirs professionnels comme corps de connaissances partagées par des praticiens, plutôt que par des chercheurs. Elles développent alors un modèle de transposition didactique où « *le savoir enseigné est le résultat d'une transposition du savoir à enseigner, lui-même obtenu par deux voies possibles : après élaboration d'un savoir savant par un processus de théorisation/axiomatisation d'une organisation conceptuelle (savoirs disciplinaires) ou après élaboration d'un savoir de référence, issu d'un processus de modélisation/formalisation de pratiques (savoirs professionnels)* » (Rogalski & Samurçay, 1994, p. 44). Mais comme le

précise Cheneval-Armand (2010), il ne s'agit pas de hiérarchiser ces deux types de savoirs mais de les penser dans un rapport dialectique.

2.3 La transposition didactique en débat

2.3.1 Savoirs et pratiques

Abordant les liens entre savoirs et pratiques, Chevallard (1991, 1994) note qu'on ne parle jamais de savoir que par métonymie. « *La partie – le savoir – désigne un tout qui inclut aussi domaine de réalité et pratique sociale* » (p. 176). Et c'est cet ensemble (domaine de réalité, pratique, savoir) qui doit être transposé. Cet auteur (1997a) précise son point de vue sur la notion de savoirs en envisageant ceux-ci comme une sous-catégorie d'une catégorie plus générale, celle des œuvres (« *toute production humaine dont l'objet est d'apporter une réponse à une ou des questions, théoriques ou pratiques, qui sont les raisons d'être de l'œuvre* »). En adoptant une perspective anthropologique (1997b), il développe un cadre théorique autour du postulat praxéologique qui lui permet de caractériser les savoirs. Une praxéologie résulte en effet de l'association d'un savoir-faire (bloc pratico-technique) et d'un savoir (bloc technologico-théorique). Chevallard ajoute que la présentation faite dans le texte du savoir accroît souvent la visibilité du bloc savoir au détriment de celle du bloc savoir-faire.

2.3.2 Dépersonnalisation, savoirs et connaissance

Develay (1992) s'interroge, quant à lui, sur deux des caractéristiques de la transposition didactique : la dépersonnalisation et la désyncrétisation. Il souhaiterait que le processus de didactisation conduise à « *une programmabilité revue dans le sens d'une mise en réseau des savoirs et non d'une exposition linéaire ... et qu'il favorise non seulement une publicité des savoirs à enseigner, mais aussi une publicité des savoirs enseignés* » (p. 25). Il faut aussi veiller à ce que les valeurs à l'origine de l'enseignement de certains contenus ne soient pas dévoyées par le travail de didactisation auxquelles elles sont soumises car « *à ignorer les valeurs qui déterminent, en partie, le choix des contenus enseignés, on s'interdit à analyser les enjeux sociaux qui accompagnent la production des savoirs scolaires* » (p. 28).

Bronckart et Plazaola Giger (1998) contestent « *radicalement la conception des relations entre « pensée » et « discours » qui est inférable de la notion de dépersonnalisation* » (p. 42). Perrenoud ajoute (1998) que cette volonté de séparer le produit du producteur, « *de se représenter les savoirs comme indépendants des êtres humains qui les produisent ou tentent de se les approprier* » (p. 494) est tout à fait discutable. S'appuyant sur les idées de Latour (Latour, 1996, cité par Perrenoud, 1998), il montre que « *la tentation de détacher les savoirs savants des pratiques dans lesquelles ils s'enracinent n'est pas innocente, qu'elle participe de la mythification de la science* » (p. 494). Cet auteur discute aussi la distinction courante dans la langue française entre savoirs et connaissances. « *Les premiers seraient universels, impersonnels, sans propriétaires, sans trace de leur genèse, sans référence à leurs usages sociaux. Les connaissances seraient au contraire la face subjective des savoirs, tels qu'ils existent dans l'esprit humain, contextualisés, personnalisés, voire englués dans l'ensemble de ses structures mentales* » (p. 494). Perrenoud ne partage pas totalement cette vision car « *le savoir est une représentation du monde qui n'a d'existence que dans et pour un esprit humain* ». Pour lui, l'opposition entre savoir et connaissance marquerait trop la hiérarchie de légitimité entre le savoir scientifique (conçu comme une réalité indépendante des esprits qui le pensent) et « *la connaissance ordinaire* » et participerait de la prétention de la science à l'objectivité. Pour autant, les savoirs scientifiques ne sont pas des savoirs comme les autres. Ce sont des savoirs sociaux particuliers, produits selon des procédés et dans des intentions spécifiques.

On retrouve aussi cet effort de clarification de ces deux concepts chez Jonnaert (2001) qui s'inspire du travail de Conne⁸ pour distinguer savoirs et connaissance. Les premiers font référence aux savoirs constitués, codifiés et décrits dans des documents officiels (programmes scolaires, curricula, référentiels professionnels) alors que la seconde désigne ce qui relève du sujet à la suite d'un processus d'apprentissage. Mais Jonnaert ajoute que les connaissances ne sont pas uniquement du domaine du privé car elles dépendent de l'environnement physique et social du sujet. On retrouve cette idée chez Sachot (1996) pour qui la connaissance n'est pas seulement une affaire privée, de l'ordre du cognitif, mais aussi une affaire publique, de l'ordre du social.

De leur côté, Bronckart et Plazaola Giger (1998) doutent de la pertinence de cette distinction terminologique et préfèrent qualifier les savoirs en fonction des lieux dont ils émanent (savoirs scientifiques, savoirs d'ingénierie et d'expertise, savoirs scolaires, savoirs de sens commun, etc.) en se référant à la théorie du champ de Bourdieu. Mais ces auteurs soulignent que ce point de vue n'entraîne nullement, chez eux, « *une adhésion à une sorte de relativisme cognitif, qui nierait toute possibilité d'identifier des critères de rationalité du savoir* » (p. 45).

Revenant sur les termes de savoir et savoir-faire, Perrenoud (1998) évoque les divergences conceptuelles dans les propositions de certains auteurs (« connaissances en acte », « savoirs incorporés »⁹) ou encore celle de certains didacticiens selon laquelle les savoirs désignent tout ce qu'un être humain a appris. Il plaide pour la distinction entre savoir et savoir-faire en notant que le premier se manifeste dans l'action efficace alors qu'un savoir-faire qui ne s'appuierait pas sur des savoirs ne serait qu'une procédure peu adaptable à un changement de contexte. Finalement, cet auteur propose de limiter le savoir *stricto sensu* à un ensemble de concepts et de représentations et de laisser ouverte la question de sa place dans l'action.

2.3.3 Tentatives d'élargissement du concept de transposition didactique

A propos de la légitimité des savoirs, Perrenoud (1998) regrette que les programmes scolaires ne proposent que des « savoirs consolidés » (des savoirs fortement validés) dans la scolarité de base, gommant au passage les conflits de savoirs ou ne présentant pas les savoirs encore en débat ou les moins assurés. Perrenoud plaide pour une approche sociologique de la transposition didactique qui « *devrait permettre de penser la réalité des savoirs savants de façon moins mythique que la représentation qu'aiment à en donner les chercheurs et nombre de didacticiens issus des disciplines de référence plutôt que des sciences sociales. ... Cette décontextualisation, qui affranchit le savoir scolaire des traces de son enracinement originel dans des pratiques et des rapports sociaux, est incompréhensible si l'on garde des savoirs savants une image mythique* » (p. 497). Pour leur part, Bronckart et Plazaola Giger (1998) invitent les didacticiens à œuvrer à la désacralisation des savoirs et à « *dénoncer en particulier les processus de réification et de naturalisation qui nient leur caractère hypothétique et provisoire* » (p. 46).

Fillon (2001) considère pour sa part que les savoirs scolaires sont constitués par différents contenus disciplinaires, caractérisés par quatre origines : les pratiques de référence qui sont des pratiques sociales, les savoirs de référence (des savoirs sur les pratiques de référence développés par théorisation sur le fonctionnement de ces pratiques), les savoirs experts (au sens de Tochon) et les savoirs savants qui correspondraient aux savoirs académiques. Fillon fait « *remarquer que par tradition la discipline académique et la discipline scolaire portent en général le même nom ce qui ne va pas sans engendrer des difficultés* » (p. 17). Il ajoute que

⁸ Conne (1992, cité par Jonnaert, 2001).

⁹ Le concept de « connaissances en acte » est introduit par Vergnaud (Vergnaud, 1995, cité par Perrenoud, 1998). Quand au concept de « savoirs incorporés », il est dû à Leplat (Leplat, 1997, cité par Perrenoud, 1998).

« tous les savoirs et pratiques issus de ces références nécessitent des transformations afin d'en faire des objets enseignables » (p. 17). Mais suivant les disciplines concernées, les domaines de savoirs et de pratiques auxquels elles se réfèrent pour construire leurs savoirs scolaires n'ont pas la même importance. Ainsi, pour Fillon, les mathématiques s'appuient majoritairement sur les savoirs savants alors que les langues vivantes sont plus fondées sur des pratiques de référence et sur des savoirs de référence. Quant à la chimie, cet auteur considère que la référence savante joue un rôle privilégié dans le savoir scolaire de cette discipline mais il ajoute que les pratiques de référence et les savoirs de référence interviennent de plus en plus depuis quelques années.

Develay (1992), quant à lui, tente de concilier le concept de pratique sociale de référence avec celui de la transposition didactique. Pour cet auteur, les pratiques sociales de référence se situent à égalité avec les savoirs savants (qui ne sont en fait que des savoirs de référence parmi d'autres) comme source possible pour la construction d'un contenu d'enseignement. Cette construction s'appuie sur deux processus : la didactisation et l'axiologisation. Le premier conduit des savoirs de référence aux savoirs assimilés par les élèves tel que le décrivent Verret et Chevillard ; le second est lié aux finalités, aux valeurs que l'enseignement véhicule. Cette réflexion axiologique interroge, selon cet auteur, en première analyse, « le couple savoirs scolaires-conception de la culture » et elle réfracte, en seconde analyse, « le couple savoirs scolaires-éthique ».

Pour Perrenoud (1998), cet effort semble fécond du point de vue de la sociologie du curriculum car « la scolarisation de la culture ne se limite jamais aux savoirs, alors qu'elle passe toujours par des processus de transposition » (p. 488). Prendre en compte d'autres composantes de la culture montre ainsi que la transposition de savoirs savants n'est qu'un cas particulier et cela amène à discuter de la distinction entre savoirs et pratiques et des limites de cette dissociation. En fait, pour cet auteur, il n'y a pas de pratiques sans savoirs mais il se demande si des savoirs de ce type, même identifiés, sont transmissibles, ou plutôt susceptibles d'être construits dans le cadre d'un dispositif de formation initiale. Dans une tentative d'élargissement du concept de transposition didactique d'un point de vue curriculaire, Perrenoud (1998) propose alors une chaîne de « transposition didactique à partir de pratiques » comportant de multiples étapes depuis « des pratiques ayant cours dans la société » jusqu'aux « apprentissages durables des formés » (p. 507) en utilisant notamment le concept de compétence (ressources cognitives mobilisées et schèmes opératoires permettant la mobilisation efficace de ces ressources).

2.4 Discussion

Pour Johsua (1997), les contraintes principales de l'apprêt didactique ne dépendent pas essentiellement des sources de référence caractéristiques de chaque institution. « Quelle que soit la pondération des sources savantes et expertes, les mécanismes principaux de la transposition didactique - désyncrétisation des objets de savoirs, séquentialisation de l'enseignement, double recontextualisation dans un corpus disciplinaire d'un côté, dans l'histoire de la classe de l'autre - devront être pris en compte » (p. 23). Pour cet auteur (1996), cela conduit à admettre l'artificialité constitutive des actes didactiques.

Cette idée se retrouve aussi chez Johsua et Dupin (1993) qui, analysant la mise en texte des savoirs, notent que la logique de l'exposition (enseignement) est différente de la logique de recherche (la « science qui se fait » est différente de la « science qui s'enseigne »). Le savoir se trouve extrait de son environnement épistémologique. Ils développent leur propos autour du phénomène de « désynthétisation » didactique des modèles scientifiques. En effet, le savoir savant (le domaine à transposer) se présente avec un aspect synthétique marqué. Un modèle scientifique repose ainsi sur une ou plusieurs théories. Il est constitué d'un ensemble de concepts liés entre eux par un système de relations. En fait, dans un modèle, le sens que prend un concept est indissociable du système de relations dans lequel il intervient. Mais

dans la transposition didactique, la situation s'inverse. Le système didactique doit délivrer la connaissance par fragments, succession de chapitres et de leçons. Le modèle n'est pas une donnée de départ mais l'objectif déclaré de l'enseignement. En conséquence, la dissociation du modèle en concepts réputés indépendants et que l'on met ensuite en relation paraît inhérente à tout projet didactique : c'est la désynthétisation du modèle. Ce processus crée finalement un cadre épistémologique artificiel qui ne peut pas reproduire le cheminement historique. Cela conduit finalement à la constitution d'une épistémologie des savoirs scolaires, distincte de l'épistémologie des savoirs de référence (Develay, 1995).

Comme tout modèle scientifique, le concept de transposition didactique modélisant des phénomènes didactiques possède un puissant intérêt heuristique (Johsua, 1996) mais il rencontre des difficultés dans ses limites de validité. Ainsi en est-il de la place donnée à la transmission des valeurs, abordée dans un autre point de vue, celui de la sociologie du curriculum, développée notamment dans les pays anglo-saxons (Forquin, 1989, 1997, cité par Perrenoud, 1998; Rey, 2010). De même, ce modèle semble ne pas prendre en compte les activités sociales à l'œuvre dans l'obtention et l'utilisation des savoirs comme le fait le modèle des pratiques de référence de Martinand. Mais quelles que soient leur légitimité et leur sphère d'élaboration, les savoirs de référence doivent être transposés dans le système scolaire afin d'être enseignés dès lors que la décision de les transmettre a été prise. Pour sa part, à partir de l'étude de l'enseignement de la prévention des risques professionnels, Cheneval-Armand (2010) développe un modèle de la transposition didactique non plus linéaire (savoir savant – savoir à enseigner – savoir enseigné) mais un modèle en boucle. En effet, pour cet auteur, « *si l'on considère que la finalité de l'enseignement de la prévention des risques professionnels est de faire de la maîtrise des risques une composante de la qualification professionnelle alors on peut considérer que le savoir transposé et finalement enseigné, et appris en classe, aura en retour une influence sur les pratiques sociales de référence* » (Cheneval-Armand, 2010, p. 80).

Pour notre part, nous retenons que la transposition didactique concerne des savoirs de référence qui sont choisis comme contenus à enseigner tels qu'ils sont présentés dans les curricula, les contenus effectivement enseignés, les contenus tels qu'ils sont appris par les élèves et les contenus d'apprentissage tels qu'ils sont évalués par le système didactique ou à l'extérieur dans le système d'enseignement et dans la société en général. Dans le cas de l'enseignement scientifique, cela conduit à distinguer la physique (et la chimie) du physicien (du chimiste), la physique (la chimie) à enseigner, la physique (la chimie) enseignée et la physique (la chimie) apprise par les élèves et enfin la physique (la chimie) évaluée par les différents systèmes.

Au-delà des débats évoqués ci-dessus, nous retenons de la perspective anthropologique que le savoir est une production culturelle et qu'il permet à un individu d'agir dans un contexte socialement, culturellement et idéologiquement identifié. Nous partageons le point de vue de Ginestié (2008a) pour qui les savoirs scolaires sont une construction particulière de circonstance. « *Le rapport à la référence ne se pose pas en termes d'homothétie, voire d'isomorphisme, mais bien en termes de pertinence : en quoi l'apprentissage de tel savoir scolaire par des élèves dans telle situation scolaire va leur permettre de développer des schèmes d'action sur et/ou dans leur environnement social usuel, c'est-à-dire en-dehors de l'école ? Cette question de la pertinence permet de poser la question de la référence autrement qu'en termes d'authenticité, de réalisme ou d'exactitude des situations scolaires proposées aux élèves. Ce qui est en jeu au travers de l'efficacité des situations proposées par l'enseignant, c'est bien évidemment l'efficacité mesurée en termes d'apprentissage ou, autrement dit, en capacité de développement du pouvoir d'agir des élèves au fur et à mesure où ils progressent dans leurs apprentissages* » (p. 8).

Mais nous partageons aussi l'inquiétude de certains auteurs pour qui le savoir scolaire, séparé des traces de son enracinement originel dans des pratiques et des rapports sociaux, contribuerait à donner une image mythique des savoirs savants. Cela pourrait expliquer le décalage entre les représentations des élèves et des enseignants dans l'enseignement des

sciences donnant de celles-ci une vision « désincarnée ». Ces auteurs dénoncent en fait la dépersonnalisation, à l'œuvre dans la transposition didactique, comme mythification possible de la science, contribuant ainsi à propager l'image que la science donne le plus souvent d'elle-même : celle d'un savoir neutre et objectif, chargé de dissiper les préjugés et les illusions en dévoilant la vérité (Stengers, 1997). Or, poursuit cet auteur, la rationalité s'est toujours construite en contestant les rapports d'autorité et les modes de légitimation autrefois dominants. Une autre vision de la science, plus proche de « celle qui se fait », contribuerait probablement à rapprocher les citoyens de celle-ci, en conciliant rationalité et démocratie. Parmi les savoirs savants, les outils conceptuels et les outils méthodologiques sont transposés dans les programmes scolaires mais il manque les aspects sociaux de la pratique scientifique qui rendent vivant cette pratique. Mais existe-t-il une pratique sociale identifiable pour pouvoir la scolariser, la transposer en milieu scolaire ?

Nous retrouvons cette idée dans la sociologie du curriculum et nous retenons avec Perrenoud (1994, 1998) que la transformation de la culture en curriculum formel (curriculum prescrit ou recommandé) puis en curriculum réel (curriculum effectivement enseigné) devrait être envisagée à travers une transposition didactique élargie, qu'il s'agisse de savoirs, de compétences, de pratiques et même de normes, de valeurs ou d'attitudes. Ce cadre permet de repenser l'activité enseignante en suggérant que *« quel qu'en soit le contexte institutionnel, aucun enseignant ne transmet véritablement des savoirs, même en mathématiques ou en sciences. De fait, il suscite des activités, des tâches, des situations à travers lesquelles – dans le meilleur des cas – les élèves construisent des savoirs. Ces derniers reflètent plus ou moins fidèlement ceux que l'enseignant avait en tête »* (p. 510). Perrenoud insiste sur le processus de médiation par des pratiques d'enseignement-apprentissage, non réductibles à la communication de savoirs, à l'œuvre dans la classe. Cet auteur invite enfin à se servir de ce concept élargi de la transposition didactique pour interroger et repenser les programmes scolaires et la formation des maîtres.

Finalement, nous retenons que le concept de transposition didactique élargie permet de prendre en compte de multiples références en évitant les écueils de la dépersonnalisation et de la désynthétisation. Mais il faut garder à l'esprit que le système didactique repose sur une épistémologie des savoirs scolaires différente de l'épistémologie des savoirs de référence et fonctionne donc dans un cadre épistémologique artificiel.

Mais alors, quels contenus spécifiques d'enseignement s'avèrent-ils pertinents dans le cas de l'enseignement des sciences physiques ? Quelles places réserver à l'expérience, aux relations entre expérience et théorie, à la modélisation, au problème scientifique ? Et qu'en est-il d'autres pratiques montrant le fonctionnement de la science en train de se faire : débat scientifique, argumentation, démarche d'investigation, etc. ? Ces questions sont abordées dans le chapitre suivant.

3 Quels types de tâches pour quels types d'apprentissage dans l'enseignement de la physique-chimie ?

Répondre à cette question suppose en premier lieu une réflexion épistémologique sur la science et son fonctionnement afin d'identifier, en second lieu, les « savoirs » qu'il conviendrait d'enseigner et donc de transposer. Ce dernier point est d'ailleurs l'objet de débats importants au sein de la noosphère et de la communauté des chercheurs en éducation scientifique. Mais il est indissociable de la question des finalités d'un enseignement des sciences physiques. Concernant cet enseignement, la question de l'articulation entre les aspects expérimentaux et théoriques suppose des recherches sur les rôles possibles des activités expérimentales dans l'apprentissage des sciences. Cela passe aussi par la prise en compte des modèles et de leur appropriation par les élèves ainsi que par des activités de résolution de problèmes.

3.1 Repères épistémologiques

Parmi les facteurs influençant l'enseignement des sciences, les exigences spécifiques de la pensée scientifique tiennent une place importante. En effet, les discours scientifiques se distinguent d'autres types de discours rationnels par un certain nombre de caractéristiques (Johsua & Dupin, 1993). De plus, les connaissances scientifiques sont définies au sein d'une communauté scientifique et elles ne sont validées qu'à un moment donné de l'histoire de cette communauté. Le discours scientifique n'existe que s'il est reconnu comme tel par la communauté partageant les mêmes critères de rationalité et de preuves, les mêmes exigences méthodologiques, etc....

Mais les débats concernant la définition, la fonction de la science et l'élaboration des savoirs scientifiques sont nombreux et complexes (par exemple : Chalmers, 1987; Fourez, 1992). L'étude des rapports entre théorie et faits d'observation (Hacking, 1989) montre des options contradictoires : les théories résultent de l'observation et de l'expérience première pour les uns alors que la construction de l'expérience et la conduite de celle-ci se font à partir d'un questionnement et à l'intérieur d'un cadre théorique initial pour les autres. Les questions de la validation des théories (par exemple le falsificationnisme de Popper), de l'objectivité scientifique (par exemple les paradigmes de Kuhn et le rôle des communautés scientifiques dans les changements de théorie), de l'universalité de la méthode scientifique (Feyerabend) sont aussi discutées.

De plus, les rapports entre théorie et réalité font l'objet de nombreux débats (Cartwright, 1983; Chalmers, 1987; Fourez, 1992). Fourez (2003, 2006) considère que deux positions se dégagent. « *Pour la première, le monde est une collection d'objets obéissant à des lois. Les sciences sont centrées sur la recherche des connaissances du monde tel qu'il serait en lui-même. Les réponses à chercher sont uniques* » (Fourez, 2006, p. 5). On parle alors d'accumulation des savoirs et de faits objectifs. Le second courant de pensée distingue les théories scientifiques des propriétés du monde. Pour Halbwachs (1974) « *la théorie est une représentation construite de la réalité, entretenant des rapports dialectiques (et non pas hiérarchiques) avec la réalité* ». Ce point de vue actuel considère les théories non pas comme des découvertes mais comme des inventions, produits de l'activité humaine. « *Rien n'est donné, tout est construit* » (Bachelard, 1938). Paraphrasant Prigogine et Stengers, Fourez considère que « *les sciences sont une œuvre humaine, réalisée pour les humains et par les humains* » (2003, p. 5). L'idée d'une réalité objective du « monde » dévoilée par la science est alors abandonnée. La science est vue comme un processus collectif de construction d'une représentation de la réalité empirique. Le concept d'intersubjectivité remplace alors celui d'objectivité (Désautels, 1987, cité par Robardet & Guillaud, 1997).

L'approche sociologique¹⁰ (Latour & Woolgar, 1988) modifie la définition de la science. Celle-ci est considérée comme un ensemble de connaissances produites par des activités s'appuyant sur des méthodes, des techniques et des instruments. Ce point de vue insiste sur la pratique scientifique menée au sein d'une communauté régie par des normes, des règles et des usages, des rapports de pouvoir, des systèmes d'évaluation, etc.... Enfin, les aspects économiques (en particulier les modes de financement) sont pris en compte. Cette approche nous apparaît comme une position trop extrême puisque l'abandon de tout présupposé concernant la validité des contenus scientifiques amène à confondre théorie et croyance et conduit ainsi à remettre en cause l'idée d'universalité des connaissances scientifiques et conduit au relativisme épistémologique. Mais elle introduit l'idée de pratiques sociales¹¹ et donc d'autres critères (partage de conventions, de normes, de valeurs) à côté de ceux de la rationalité (cohérence, non contradiction, calculabilité, etc....). D'autres travaux en sociologie des sciences analysent les rapports entre science et société. Ainsi, Nowotny, Scott et Gibbons (2003) distinguent deux modes de production de la science, l'un prolongeant l'autre. À côté du mode traditionnel qui s'appuie sur l'apprentissage de la recherche au sein de disciplines universitaires spécialisées, figure le mode multidisciplinaire, désormais prépondérant. Il se développe dans les laboratoires privés et publics à finalités industrielles sur la base d'enjeux économiques, politiques et de société où intervient la sphère publique. Cette inscription de la société dans les affaires de la science amène ces auteurs à parler de contextualisation de la science et à analyser la co-évolution de la science et de la société.

Une bonne compréhension de la nature de la science est un axe central de la littéracie scientifique pour Abd-El-Khalick et Lederman (2000). La nature de la science fait référence à l'épistémologie des sciences mais ces auteurs ajoutent qu'il n'existe pas de consensus actuellement entre les philosophes des sciences, les historiens des sciences, les scientifiques et les éducateurs scientifiques sur une définition précise. La place de la nature de la science (« nature of science » ou NOS) dans l'éducation scientifique concerne un vaste champ de recherche dans le monde anglo-saxon (Abd-El-Khalik & Lederman, 2000 ; Lederman, 1992) alors que cette question semble moins abordée dans le monde francophone.

Comme l'avancent Johsua et Dupin (1993), il n'est pas question de trancher définitivement la question du positionnement épistémologique mais de choisir un cadre de réflexion cohérent, d'une part, avec l'image des sciences physiques que l'on souhaite donner dans l'enseignement, et d'autre part, avec les impératifs didactiques. De nombreux didacticiens des sciences se sont intéressés à ces questions et ont essayé de clarifier les positionnements possibles quant à la pratique scientifique, à la place des modèles, aux liens entre expérience et théorie et au rôle du problème dans l'éducation scientifique. Par exemple, Toussaint (1995) propose que la physique à enseigner mette « *l'accent sur la méthodologie propre à la pratique courante du physicien, caractérisée par des activités de modélisation réellement effectuées par les élèves (et non d'application de modèles énoncés), des activités de résolution de problèmes similaires à celles que le technicien ou le physicien ont à résoudre dans leurs laboratoires (et non les problèmes d'examens où il s'agit de mettre en œuvre des recettes apprises), des raisonnements hypothético-déductifs où l'expérience devient partie intégrante du processus d'apprentissage (et non plus un inductivisme naïf où la « bonne réponse » est celle que détient le professeur) »* (p. 309). De son côté, Albe (2007) analyse les débats en épistémologie, histoire et sociologie des sciences pour saisir la nature des sciences et des pratiques de sciences. Elle considère que « *l'activité des sciences est à la fois intersubjective et une confrontation renouvelée avec le monde matériel* » (p. 212). Elle prend alors position « *en faveur d'une inscription sociale de*

¹⁰ Pour une présentation des positions actuelles en sociologie des sciences, voir par exemple Matalon (1996).

¹¹ Par exemple, pour Habermas (1987) la raison est par essence communicationnelle et elle appelle le débat. Cet auteur définit alors le concept d'intercompréhension, vue comme une négociation coopérative en vue d'obtenir des définitions communes de situations.

la production des savoirs » et elle considère qu'une « *conception des sciences en tant que pratiques sociales contextuelles rejoint une perspective socioconstructiviste de la cognition* » (p. 213). Ce positionnement lui permet de soutenir l'introduction dans l'éducation scientifique à l'école de questions scientifiques socialement vives.

3.2 Finalités d'un enseignement des sciences physiques

La question des finalités d'un enseignement des sciences physiques est abordée au sein de la « noosphère » et dans la profession enseignante¹² mais aussi dans les recherches en éducation scientifique notamment dans le cadre des études curriculaires. Cette question est d'importance car « *les finalités sont des options qui explicitent les valeurs privilégiées et qui fondent l'organisation du système éducatif* » (Lenoir, Lebeaume & Hasni, 2006, p. 251).

Ainsi, dans la préface d'un rapport¹³ sur l'enseignement primaire et secondaire inférieur en Europe (Eurydice, 2006), le commissaire européen en charge de l'éducation, de la formation, de la culture et du multilinguisme, Jan Figel, évoque les finalités des sciences et de son enseignement :

- La science donne des outils pour mieux comprendre le monde qui nous entoure ; il s'agit d'encourager la curiosité et l'esprit critique et de développer les relations entre l'homme et la nature en rappelant notamment que les ressources naturelles ne sont pas inépuisables ;
- La science est au cœur de la société actuelle à travers ses applications ; la culture scientifique est nécessaire pour comprendre et évaluer les discours « experts » sur des sujets d'intérêt général (changement climatique, OGM, ressources naturelles, etc.) ;
- L'Europe a besoin de jeunes scientifiques capables d'innovation ; il s'agit d'accroître les recrutements dans les filières scientifiques et techniques (processus de Lisbonne).

L'introduction du rapport précise que « *la manière dont les sciences sont enseignées dans les écoles dépend de nombreux facteurs : formation reçue par les enseignants, contenu des programmes scolaires, contenu des tests ou des examens standardisés. Ils influencent, directement ou non, les contenus, les approches et les activités scientifiques organisées en classe* » (p. 7).

3.2.1 Le cas de la France

Les différents intervenants au sein de la « noosphère » sont toujours actifs et les débats sur les finalités de l'enseignement des sciences peuvent être vifs suivant les périodes comme le montre une mise en perspective historique de la situation française alors que la période actuelle montre par contre la naissance d'un certain consensus autour de la dimension culturelle du savoir scientifique.

¹² Par exemple, la revue Cahiers Pédagogiques consacre un dossier spécial coordonné par Giordan (2006) au thème de la culture scientifique et un autre à l'enseignement des sciences physiques et chimiques (Chevigny, 2009).

¹³ Un des objectifs de cette étude est de proposer une analyse comparative des réglementations et des recommandations officielles relatives à l'enseignement des sciences. La collecte d'informations auprès des « unités nationales du réseau » Eurydice porte sur les sciences enseignées comme matière unique et intégrée ou sur la biologie et la physique lorsqu'elles font l'objet d'un enseignement distinct et séparé dans les programmes scolaires (situation rencontrée surtout au niveau secondaire inférieur).

3.2.1.1 Perspective historique

L'histoire du système éducatif français est jalonnée de réformes, les unes plus marquantes que les autres. La société du XIX^e siècle conçoit l'enseignement de la physique comme une discipline d'appoint au service des humanités pour la formation des élites libérales alors que les sciences physiques sont mises en valeur en tant que matière scientifique utile à l'industrie et à l'agriculture dans l'enseignement secondaire spécial - qui deviendra enseignement secondaire moderne - (Balpe, 2001; De Peretti, 1992). Mais de nouvelles demandes sociales vont conduire à une série de réformes au XX^e siècle. Concernant l'enseignement des sciences, les réformes vont se succéder (Fauque, 2007b) mais celles de 1902 et 1925 sont essentielles (Hulin, 1992b; Hulin, 2005) tout comme celles plus récentes de 1966 et 1977 (Dupin, 2007).

De 1902 aux années 60

La réforme de 1902 modifie les grands équilibres entre les disciplines scolaires et place les sciences sur un pied d'égalité avec les lettres à travers la mise en place de filières spécialisées. De plus, la systématisation des « exercices pratiques » (précurseurs des travaux pratiques actuels) met l'accent sur l'expérience dans l'enseignement des sciences. « *L'initiation à la méthode expérimentale est un objectif essentiel de l'enseignement des sciences physiques qu'elle caractérise. L'expérience joue donc un rôle fondamental et les exercices pratiques revêtent une grande importance* » (Hulin, 2005, p. 123). Cette montée en puissance des « humanités scientifiques »¹⁴ ne s'est pas faite sans de nombreuses résistances. En témoigne les modifications de structures et de programmes scolaires qui vont accompagner les changements dans la société française tout au long du XX^e siècle. Ainsi, le début de ce siècle voit avancer et reculer le « dogme de l'égalité scientifique » (Fauque, 2007b; Hulin, 2005) qui envisageait un même enseignement de sciences pour tous les élèves jusqu'à la classe de première. Finalement, la première moitié du XX^e siècle voit deux visions de l'enseignement secondaire s'affronter, « *l'une se fondant sur une culture spéculative et désintéressée, l'autre lui assignant le double objectif de former le jugement et de faire acquérir des connaissances utiles* » (Hulin, 2005, p. 189). Cette opposition entre éducation utilitaire et éducation désintéressée est l'objet de vifs débats, tout comme est questionnée la place de la culture scientifique et de la culture technique. Elle amène à discuter la notion de culture commune pour les citoyens, même si cela « *ne signifie pas l'établissement de programmes communs* » (Hulin, 2005, p. 190). Il est étonnant de voir combien ces débats sont toujours d'actualité dans le système éducatif en ce début de XXI^e siècle.

La période de l'après guerre (1945 à 1960 environ) ne voit pas apparaître de questions nouvelles sur les finalités de l'enseignement des sciences physiques mais plutôt des interrogations sur les méthodes d'enseignement (Balpe, 2001; Fauque, 2007b; Johsua, 1990). L'enseignement est jugé trop dogmatique, trop formel et pas assez expérimental. On voit ainsi apparaître la méthode de la redécouverte ou « méthode naturelle » (Lazerges)¹⁵ qui doit rendre l'élève plus actif mais qui sera finalement peu appliquée dans les classes.

Des années 60 aux années 80

¹⁴ « *Dans l'enseignement secondaire, les études scientifiques doivent constituer de véritables humanités scientifiques. Il faut faire une part plus large à l'expérience et à l'induction, montrer aux élèves comment la science se fait et non une science toute faite ; pour bien leur faire comprendre la marche de la science, il faut les faire travailler eux-mêmes. C'est des sciences expérimentales que viennent deux notions essentielles : celle de vérité positive c'est-à-dire du fait expérimentalement constaté et celle de loi naturelle.* » (d'après une conférence de Ascoli au Musée pédagogique - ancêtre de l'Institut national de la recherche pédagogique - en 1904, Hulin, 1992b).

¹⁵ Voir Johsua (1990).

La naissance de la V^e République s'accompagne de changements profonds dans les structures du système éducatif. De nouveaux programmes de sciences physiques sont appliqués à la rentrée 1966 ; ils amènent à distinguer l'enseignement des sciences en classes littéraires de l'enseignement en classe scientifique. Mais à la fin des années 60, « *l'écart entre la physique scolaire couramment pratiquée (phénoménologiste dans son idéologie, très tournée vers les calculs et les mathématiques appliquées dans sa pratique) et la physique savante est devenu trop grand* » (Johsua, 1990).

Les travaux de la commission Lagarrigue, commission de réflexion sur les programmes de sciences physiques¹⁶ (Lagarrigue, 1971, 1973; Omnès 1975; Omnès 1977; Omnès, Blanc, Kahane & Delacôte, 1977), vont amener de profondes modifications sur le plan épistémologique et structurel. Pour le ministre de l'Éducation, les propositions de la commission doivent « *contribuer à la définition d'un nouveau modèle scolaire, conforme au nouveau modèle culturel qu'a fait surgir et qu'enrichit chaque jour la prodigieuse expansion des sciences et des techniques* » (Guichard, 1971). Elles concernent trois domaines : l'enseignement de la technologie dans les classes de quatrième et de troisième, la réforme des programmes de sciences physiques au lycée, la formation pédagogique initiale des futurs enseignants. Pour la commission, le but de l'enseignement de la physique et de la chimie n'est pas de former des physiciens ou des chimistes mais d'apporter des éléments de culture générale à des élèves divers, de « *profiter de la démarche spécifique des sciences expérimentales pour inculquer aux élèves l'idée fondamentale que le progrès scientifique, dans son ensemble, correspond à une interaction dialectique entre observation, manipulation, élaboration de modèles progressivement mathématisés, pour finalement revenir à l'expérimentation* » (rapport de février 1974, cité par Hulin, 1992b). La commission propose de faire évoluer l'évaluation au baccalauréat pour mieux prendre en compte l'aspect expérimental dans les exercices proposés. Initialement, cette commission « *était chargée de moderniser l'enseignement des sciences physiques dans le second cycle et de redéfinir celui de la technologie dans les classes de quatrième et troisième. Elle devait également formuler des suggestions pour la formation des maîtres* » (Omnès, 1975, p. 265). Mais les changements politiques et la mise en place du « collège unique » (réforme Haby, loi du 11 juillet 1975) vont modifier ses tâches et l'amener à définir le contenu qu'il convient de donner aux sciences physiques dans une réforme d'ensemble où cette discipline prend place dans tout le premier cycle du second degré.

Cette période est propice aux débats dans le Bulletin de l'Union des Physiciens¹⁷ sur les finalités de l'enseignement des sciences physiques (enseignement élitiste ou enseignement de masse ?) face à la baisse des effectifs dans la discipline (Marck, 1972; Dirand, 1973). Les liens avec la vulgarisation scientifique sont aussi discutés. Ainsi, Cousin (1976), prenant appui sur une réflexion épistémologique, psychologique et sociologique, discute des « *conditions de mise en place dès l'école d'une attitude scientifique, permettant par l'accès qu'elle donnerait à l'idée de vérité scientifique, à une vulgarisation scientifique valable, de prendre racine dans la société ambiante* » (p. 1187).

Comme le souligne Dupin (2007), on peut dire que la didactique des sciences en France naît de ce mouvement de réflexion puisque les travaux de la commission Lagarrigue

¹⁶ Cette commission ministérielle de rénovation de l'enseignement des sciences physiques dans le second degré est aussi dénommée Commission d'étude pour l'enseignement de la physique, de la chimie et de la technologie (Fauque, 2007b). Initiée par une coopération entre la Société française de physique (SFP), l'Union des physiciens (UdP) et la Société chimique de France (SCF) depuis 1969, elle est mise en place par le ministre de l'Éducation nationale Olivier Guichard.

¹⁷ Le Bulletin de l'union des physiciens (BUP) est la revue publiée par l'association française de spécialistes de l'enseignement des sciences physiques et chimiques dénommée actuellement Association des professeurs de physique et de chimie (Udppc).

s'accompagnent de la mise en place de structures officielles de recherche en éducation scientifique (équipes de l'INRP et naissance du laboratoire LRESPT, actuel LIREST¹⁸).

Des années 80 au début du XXI^e siècle

La fin du XX^e siècle voit plusieurs alternances politiques qui s'accompagnent d'un cortège de commissions de réflexion et de rapports sur la place de l'école et de multiples réformes successives (Fauque, 2007b). Tous ces changements concernent l'ensemble du système éducatif et la place des sciences physiques y évolue suivant les modifications de structure et les programmes scolaires mis en place. Ainsi, la physique-chimie est enseignée dans toutes les classes du collège au début des années 80, puis seulement en 4^e et en 3^e au début des années 90 et actuellement de la 5^e à la 3^e. Les finalités de l'enseignement des sciences sont peu évoquées directement. Mais face à la forte demande sociale en enseignement général, les effectifs du secondaire augmentent rapidement. Les orientations de l'enseignement scientifique doivent alors tenir compte de cette massification et du nouveau public accueilli et ne plus concevoir ses programmes en vue de la formation de futurs scientifiques (Fauque, 2007b). La dimension culturelle du savoir scientifique apparaît de plus en plus nettement.

3.2.1.2 *Éléments des débats*

De nombreuses personnalités du monde des sciences et/ou de son enseignement participent à ce débat. Ainsi, après avoir défini ce que pourrait constituer la culture scientifique et technique, Hulin (1990a)¹⁹ envisage sa création et sa diffusion. Il est ainsi conduit à discuter des liens entre vulgarisation et enseignement autour des buts poursuivis et des méthodes employées. Il explicite la raison de la « mise en culture »²⁰ des sciences et techniques et il discute des moyens, dont la piste la plus employée par les gouvernements : « *développer les enseignements scientifiques, prolonger les études correspondantes et les faire suivre par des nombres sans cesse croissants d'élèves ou d'étudiants* » (p. 7). Mais la limite de cette méthode est que les sociétés occidentales ne savent pas « *apprendre vraiment beaucoup de sciences à beaucoup de gens* » (p. 7). Cela amène Hulin à distinguer les besoins d'un pays en techniciens et ingénieurs et en physiciens de métier, le nombre des seconds étant considérablement moins élevé que le premier. Il peut alors avancer ses propositions. « *La mise en culture des sciences et des techniques suppose prioritairement qu'on renonce à déterminer les programmes et les méthodes d'enseignement en fonction des très rares futurs « scientifiques professionnels »* » (p. 9) La question se pose alors d'identifier le maximum raisonnable que devraient contenir les programmes scolaires. En fait, il faut former au bon usage de la science et « *ce que l'on doit considérer comme essentiel, ce n'est pas la connaissance scientifique elle-même, largement inaccessible - sinon « par morceaux » - mais la capacité pour les citoyens – (et a fortiori les décideurs, les « responsables ») – de profiter du savoir des scientifiques en étant les auditeurs actifs et critiques de leur discours* » (p. 10). Pour Hulin, il reste à déterminer sur quoi se fonde cette capacité à manipuler de manière critique les débats entre « experts », scientifiques ou techniciens. Il s'agit en particulier d'apprendre à distinguer des arguments scientifiques d'arguments idéologiques ou politiques. Cela pose alors le problème du niveau minimum de savoir scientifique ou technique à posséder et le problème de savoir « *comment on peut attirer les gens vers le débat à composante scientifique ... Cela oblige à rompre avec une tradition qui veut que ce soient les exigences de la discipline qui déterminent les*

¹⁸ Pour plus de détails sur les débuts de la recherche en didactique des sciences en France, voir par exemple Goffard et Weil-Barais (2005).

¹⁹ Cet article du Bulletin de l'Union des physiciens reprend les thèses essentielles développées plus amplement par Michel Hulin (1936-1988), ancien professeur de physique à l'université Paris VI et membre de la commission Lagarrigue dans l'ouvrage « *Le mirage et la nécessité - Pour une redéfinition de la formation scientifique de base* », Presses de l'École normale supérieure et Palais de la découverte (1992).

²⁰ On retrouve cette idée de mise en culture chez Lévy-Leblond (1984, 1996).

« programmes », fixant ainsi à la plupart des élèves et donc à la quasi-totalité des enseignants une mission impossible » (p. 12).

Gié (1992),²¹ Inspecteur général de physique, reprend les thèmes développés par Hulin et s'inquiète de l'avenir de la démocratie face à la montée grandissante de l'analphabétisme scientifique. Les sciences n'étant pas perçues comme un élément de culture véritable, comme le sont les arts et la littérature, une bonne part de notre élite, ou le citoyen moyen, ne possède pas le minimum de connaissances pour participer aux débats de société. Gié dénonce cette faillite et le constat est sévère. « *Notre société, tout en baignant quotidiennement dans les produits de la science et de la technologie, vouée qu'elle est au culte de l'efficacité et de la rentabilité immédiate, tend à considérer cette formation culturelle comme un luxe* » (p. 150). Et notre système éducatif en subit les contrecoups. Gié propose alors la charte d'une culture scientifique et technique minimale bâtie autour de trois finalités : « *une compréhension de la méthode et de la construction scientifiques, une bonne perception des relations réciproques entre l'évolution des sciences et techniques et celle de la société, une saine compréhension des relations entre sciences et technologies, en particulier de ce qui les lie et de ce qui les distingue* ». Il importe, conclut-il, que « *les responsables du système éducatif de tous niveaux comprennent que l'accès à la science, pour une grande majorité du public scolaire, ne concerne pas les aspects proprement techniques et qu'il ne s'agit pas dans ce domaine de culture extensive. Ne pas connaître, par exemple, la formulation exacte des lois de Newton ne constitue pas une tare en soi. Notre système éducatif doit donc s'efforcer de donner à tous y compris les futurs scientifiques, ingénieurs ou techniciens, un minimum d'éléments de réflexion leur permettant de porter un jugement, même modeste, sur l'acte scientifique et ses implications. Les trois directions que nous avons indiquées nous semblent pouvoir fournir un chemin vers ce but* » (p. 154).

Bergé (1997) s'interroge lui aussi sur les enjeux de l'enseignement des sciences et sur la manière de donner le goût des sciences. « *L'enseignement d'une science pour la science plutôt que l'enseignement d'une science comme élément d'une culture est une question capitale mais non clairement tranchée ; de toutes façons, les pratiques et les programmes actuels sont nettement en faveur du premier terme de l'alternative. Cela a de regrettables conséquences comme on va le voir* » (p. 1793). Et l'auteur de fustiger l'enseignement de la physique (et des mathématiques) beaucoup trop abstrait et formel à l'excès, conduisant à une exclusion de la physique et des mathématiques du champ de la culture. En effet, l'immense majorité des citoyens ignore tout, ou presque, de la science moderne et les catégories socialement aisées rejettent même les sciences de la culture. Les programmes ne permettent pas aux élèves de voir « *clairement le rapport entre le contenu enseigné et sa correspondance dans le monde réel qui les entoure. N'ayant pas eu accès au sens qualitatif et aux enjeux pratiques, beaucoup n'acquerront de ce fait aucun élément de savoir ou de culture* » (p. 1795). Bergé avance alors des propositions concernant l'enseignement de la physique et de la chimie et l'évaluation des élèves en donnant une place prépondérante aux raisonnements qualitatifs et en illustrant son propos de quelques exemples.

De son côté, Léna (1999), dressant un constat de la situation et reprenant à son compte certains propos de Gié, avance, lui aussi, quelques propositions. Il faut développer les aspects historiques, philosophiques et éthiques pour construire « *un discours sur la science, un discours autour de la science* » (p. 14) et pas seulement un discours de sciences. Pour cela, il faut amener les élèves à s'approprier le fonctionnement de la science en la pratiquant. De plus, Léna porte une attention particulière à la nécessité de décloisonner les disciplines pour aider les élèves à distinguer les différents savoirs entre eux.

Le débat est toujours d'actualité au sein de la communauté enseignante. En témoigne une contribution tout à fait intéressante émanant d'un groupe de réflexion de l'UdPPC à propos

²¹ Cet article publié dans le numéro 180 Hors Série de Sciences et Vie est reproduit dans le Bulletin de l'Union des Physiciens n° 797 (1997).

de l'avenir de la classe de seconde du lycée (Duda et al., 2008). On retrouve dans ce document un grand nombre d'idées évoquées ci-dessus et les finalités affichées pour l'enseignement de la physique-chimie sont de développer la culture scientifique des élèves mais aussi de leur faire apprécier les sciences, de leur donner des éléments de connaissances et de méthodes « scientifiques » pour pouvoir intervenir en tant que citoyens. Le document précise que « *la construction d'une culture scientifique commence par l'élaboration d'un rapport positif à la science et aux ouvertures qu'elle offre pour la société, dans quelque domaine que ce soit ... l'enseignement scientifique dispensé au lycée doit donner les moyens de comprendre les enjeux de questions scientifiques socialement vives ou les démarches et conclusions de spécialistes* » (p. 450). Mais le but de cet enseignement est aussi de former les élèves pour leur permettre de suivre des études scientifiques les conduisant vers des métiers scientifiques. Le groupe propose une mise en œuvre possible de ces objectifs axée sur la continuité des apprentissages avec le collège et le décloisonnement disciplinaire, l'appui sur les démarches sans négliger les savoirs et une modification des pratiques d'évaluation.

3.2.1.3 Du côté de l'institution

Différents rapports français notamment, abordent le thème des finalités d'un enseignement des sciences où revient très souvent la notion de culture scientifique.

Le rapport Bergé (1989)

Le rapport Bergé constitue le rapport de la mission de réflexion sur l'enseignement de la physique paru en 1989 dans une période de réforme importante du système éducatif français.²² Ce rapport constate que la physique « *a progressivement et insidieusement formalisé son enseignement. La démarche, les raisonnements, sont souvent déductifs et dogmatiques et la démonstration théorique est, plus que l'expérience, retenue comme preuve suffisante* » (p. 1). En réaction à ces pratiques, il préconise un enseignement mettant l'accent sur les aspects concrets de la physique et privilégiant « *la méthode expérimentale* » et un apprentissage inductif (« *la démarche initiale de l'apprentissage de la physique doit être qualitative, voire même empirique* »). La méthode expérimentale doit permettre « *le développement de la créativité, de l'imagination et de l'esprit d'invention* » (p. 71). Parmi les orientations proposées, figure notamment une réflexion sur la forme de l'évaluation et de l'examen qui s'accompagne de propositions cohérentes avec l'accent mis sur la place de l'expérience dans l'enseignement. « *Tenant une place capitale au cœur du système éducatif, la forme et la modalité de l'évaluation et de l'examen finissent souvent par déterminer l'esprit de l'enseignement, voire parfois, son contenu. En plus des habituels exercices ou problèmes, il faut proposer des épreuves différentes révélant d'autres qualités que la seule connaissance « livresque » et scolaire. En particulier les épreuves pratiques sont indispensables* » (p. 12). [...] « *On ne peut espérer aller vers un enseignement plus expérimental mené dans un réel esprit scientifique que si l'évaluation prend en compte la compréhension, au départ qualitative, la démarche scientifique et les savoir-faire expérimentaux* » (p. 73).

Le rapport Bach (2004)

Un groupe d'experts a étudié les programmes des disciplines scientifiques en vigueur au collège (Bach, 2004) et il a proposé quelques « *modifications limitées mais significatives* ». Pour rester dans la continuité des programmes de l'école primaire, le rapport propose « *une introduction générale des programmes précisant la pédagogie qui doit être mise en œuvre dans les disciplines scientifiques* » ainsi que les objectifs de fin de collège en termes de

²² Le rapport Mathey (1989) concerne, quant à lui, la mission de réflexion sur l'enseignement de la chimie.

connaissances scientifiques permettant « *une vision globale du monde* » (p. 1). Cette introduction commune à l'ensemble des disciplines du pôle sciences développe notamment « *une pédagogie d'investigation expérimentale* » qui « *privilégie la construction du savoir par l'élève* » (p. 1). Pour renforcer la cohérence entre les disciplines, le groupe d'experts propose des thèmes de convergence qui « *définissent des domaines dans lesquels les enseignements disciplinaires doivent coopérer à la construction de savoirs cohérents* » (p. 1). Le rapport ajoute que « *ces thèmes, ancrés dans la société et proches des préoccupations quotidiennes des élèves, ont été choisis en fonction de l'intérêt que leur étude coordonnée peut susciter chez les collégiens* » (p. 1). Le rapport propose également d'annexer « *au préambule général des programmes des recommandations destinées à promouvoir la cohérence des enseignements : conseils relatifs à la terminologie scientifique, invitation à utiliser des documents en langue étrangère dans le cadre des activités scientifiques, introduction d'éléments d'histoire des sciences* » (p. 1). A propos de ce dernier point, le rapport ajoute que « *le souci de la clarté et de la concision amène souvent à présenter un sujet scientifique comme un ensemble de résultats achevés. Une telle approche, si elle est systématique, recèle des risques de dogmatisme. En faisant abstraction de la dimension historique de la construction des savoirs, elle donne aux élèves une idée fautive de la science, assimilée à un ensemble définitivement acquis de vérités révélées* » (p. 85).

Le rapport insiste aussi sur les conditions matérielles nécessaires à la réussite de ces recommandations (par exemple la mise en place de groupes allégés) et sur l'organisation particulière de la classe de sixième à mettre en œuvre pour pallier l'absence de la physique-chimie. A propos des programmes de physique-chimie, le rapport précise que « *dans la continuité du point de vue adopté pour l'enseignement des sciences à l'école primaire, l'expérimentation et l'observation ont la priorité sur le recours au virtuel. Cette considération n'est pas contradictoire avec l'importance du recours aux technologies de l'information et de la communication, tant pour l'acquisition, la présentation et le traitement de données expérimentales que pour la recherche documentaire.* » (p. 9).

Le point de vue de Sarmant (2004)

De son côté, Sarmant²³ (2004) insiste sur le fait que les effets du rejet des sciences se manifestent particulièrement en classe de troisième. Les enjeux se situent donc en amont, à l'école primaire et au collège. L'auteur développe trois types de solutions à mettre en œuvre : « *Privilégier, chaque fois que c'est possible, une démarche d'investigation, centrer l'enseignement sur des thèmes proches des préoccupations de l'individu et de la société, construire un ensemble cohérent de connaissances qui s'intègre dans une culture* ». Par tradition, les sciences constituent une discipline de formation générale dans l'enseignement secondaire et non un véritable élément de culture. Il faut rechercher un nouvel équilibre avec comme objectif prioritaire « *d'apporter des réponses variées à la question « pourquoi la science ? », en montrant comment les sciences se sont développées, notamment en réponse aux attentes de la société. Sans faire de la propagande scientifique, l'enseignement doit donner des éléments de connaissance objectifs à partir desquels le citoyen et le consommateur pourront se faire une opinion sur les progrès de la science et leur utilisation* ».

L'Académie des sciences et l'Académie des technologies

L'Académie des sciences s'est penchée sur les réformes à apporter dans l'enseignement scientifique et technique à l'école primaire et au collège. Dans un rapport (2004), elle insiste tout d'abord pour montrer qu'il n'y a pas deux cultures, l'une fondée sur les humanités, et une autre sur les sciences. « *Il y a un désir, immémorial, qui tend l'homme vers un*

²³ Jean-Pierre Sarmant est membre du groupe de travail Bach et Inspecteur Général de l'Éducation nationale, président du comité de suivi national du plan de rénovation des sciences à l'école.

dépassement de soi, nourri par une connivence avec le monde où il vit » (p. 3). L'école doit proposer cette double voie aux enfants. Toutes les branches de la science (mathématiques, informatique, sciences de la nature, technique) participent à « rendre possible la familiarité avec le monde ». Elles ont toutes des rapports avec « les autres composantes d'une éducation idéale : humanités, philosophie, histoire, etc. ». Dans l'impossibilité de prévoir les évolutions des sociétés, l'école doit développer chez tous les enfants « la curiosité qui vise à connaître et à comprendre, la capacité de formaliser et de transmettre les savoirs qui est à la racine de tous les progrès passés et futurs, et l'inventivité qui permet de nous outiller dans tous les domaines » (p. 4). Le rapport réalise ensuite un état des lieux à l'école et au collège en analysant les contenus de l'enseignement des sciences et des techniques. Il propose une série de recommandations concernant la rénovation des programmes et les modalités d'enseignement mais il aborde aussi la nécessaire formation des maîtres à prévoir pour accompagner la réussite des réformes.

L'Académie des sciences portent ces réflexions plus particulièrement sur l'enseignement des sciences au lycée général et technologique dans un rapport récent (2008) où sont étudiées les structures adéquates à mettre en place ainsi que les modifications à apporter au baccalauréat et à la formation des enseignants. L'ambition affichée est double. Il s'agit d'une part « d'ouvrir l'élève à une culture globale à laquelle la science participe à part entière et [d'autre part] de le préparer à son avenir professionnel pour lequel la science peut lui donner un atout décisif » (p. 4)²⁴. Les auteurs recommandent « avec insistance que tout élève titulaire d'un baccalauréat, quels que soient sa voie et son parcours, ait reçu un enseignement minimal en mathématiques et en sciences jusqu'à la fin de sa scolarité [car] la science fait partie à la fois de la culture universelle et de notre vie quotidienne (environnement, énergie, santé, ...) » (p. 18).

L'Inspection général de sciences physiques et chimiques

Ajoutons enfin que le groupe des sciences physiques et chimiques de l'Inspection générale (2007) distingue la prescription de la réalité dans les classes. Il rappelle que, d'après les textes officiels, l'objectif assigné à l'enseignement de ces disciplines en série S est double (p. 93) :

- « Former le futur citoyen en lui donnant une culture de base, distinguant la science des autres activités, et montrant les liens entre les sciences et le monde quotidien ;
- Former le futur scientifique. ... Il ne s'agit pas de professionnaliser la formation mais d'avoir des exigences à la hauteur de la formation intellectuelle des jeunes amenés à poursuivre des études dans le supérieur, en lien avec les activités scientifiques ».

Mais l'Inspection générale constate que ces objectifs ne sont pas toujours pris en compte par les enseignants en classe de seconde qui se placent plutôt dans l'optique d'une poursuite d'étude en filières scientifiques et qui développent très vite des exigences tournées vers ce but. D'une manière générale, le rapport note que, même si les programmes se montrent peu adaptés à ces objectifs, l'enseignement se révèle trop axé sur la transmission de contenus notionnels et ne met pas suffisamment en évidence « combien les sciences physiques et chimiques procèdent de la rencontre avec le réel » (p. 94).

3.2.2 Culture scientifique

Tous les rapports évoqués précédemment parle de culture scientifique mais le plus souvent sans jamais préciser le sens accordé à cette expression, ce qui ne facilite pas les comparaisons et les analyses, sans parler des difficultés liées aux traductions puisqu'on

²⁴ Pour Léna (2009) les deux objectifs de ce double défi sont liés même si le premier est plutôt assigné à l'école primaire et à l'enseignement secondaire inférieur alors que le second concerne davantage la fin de l'enseignement secondaire.

trouve dans la littérature des termes comme culture scientifique, alphabétisation scientifique ou encore littéracie scientifique. Par exemple, le cycle PISA 2006 emploie le terme de culture scientifique (ou littéracie scientifique) qui est défini comme suit (OCDE, 2006b, p. 25) :

- « *Les connaissances scientifiques de l'individu et sa capacité d'utiliser ces connaissances pour identifier les questions auxquelles la science peut apporter une réponse, pour acquérir de nouvelles connaissances, pour expliquer des phénomènes scientifiques et pour tirer des conclusions fondées sur des faits à propos de questions à caractère scientifique ;*
- *La compréhension des éléments caractéristiques de la science en tant que forme de recherche et de connaissance humaine ;*
- *La conscience du rôle de la science et de la technologie dans la constitution de notre environnement matériel, intellectuel et culturel ;*
- *La volonté de s'engager en qualité de citoyen réfléchi à propos de problèmes à caractère scientifique et touchant à des notions relatives à la science. »*

Notons que les trois derniers points ne semblent pas vraiment développés dans les programmes français actuels.

Un autre exemple est fourni par un rapport de l'OCDE, (OCDE, 1999, cité par Harlen & Allende, 2009b) qui avance que l'enseignement scientifique devrait permettre aux élèves :

- De saisir les grandes lignes de pensée qui permettent de comprendre des aspects du monde qui les entoure, qu'ils soient naturels ou résultent des applications de la science ;
- De comprendre, de façon élémentaire, ce qu'est la science, « comment ça marche », quels sont ses points forts et ses limites ;
- De développer ses capacités à communiquer expériences et idées en sciences ;
- D'être capable de continuer à apprendre.

Pour Harlen et Allende, les trois premiers objectifs peuvent se résumer par « développer la culture scientifique ». Ces auteurs précisent que « *dans ce contexte, le terme de culture désigne la capacité de s'engager efficacement dans certains aspects de la vie moderne, de disposer des connaissances et des compétences nécessaires à chacun d'eux – qui ne sont pas celles des futurs spécialistes ou des individus qui en feront un usage professionnel dans un domaine scientifique. Il signifie que l'on est au fait des grands domaines et orientations de la science, de sa nature et de ses limites, de ce qu'est la démarche scientifique, mais aussi que l'on est capable de mettre à profit ces connaissances pour prendre des décisions en tant que citoyen éclairé et impliqué* » (Harlen & Allende, 2009b, p. 5).

Pour Duit (2007), la littéracie scientifique comprend quatre éléments : les concepts et les principes scientifiques, les méthodes scientifiques, des points de vue sur la nature de la science, des points de vue sur les relations entre science, société et technologie. De son côté, Fourez (1994) part de la notion d'alphabétisation scientifique et technique pour définir les finalités de l'enseignement des sciences où la dimension socio-historique et l'interdisciplinarité science-technologie occupent une grande place.

Comme le signalent Albe et Ruel (2008), le concept de « scientific literacy » est ancien dans les pays anglophones et controversé. Deux visions extrêmes peuvent être distinguées (Roberts, 2007, cité par Albe et Ruel, 2008; Jorde, 2009) : « looking inward to science itself » ; « looking inward from situations to science ». « *L'une conçoit la culture scientifique à partir des produits et procédés des sciences et exclut la prise en compte de considérations sociales et des dimensions morales et politiques et des valeurs en sciences. L'autre considère ces éléments et appréhende la culture scientifique à partir des situations impliquant une dimension scientifique que les élèves peuvent rencontrer en tant que citoyens* » (Albe & Ruel, p. 122).

En fait, le développement d'une culture scientifique est lié aux finalités poursuivies par l'enseignement des sciences. Diverses visions s'affrontent, se justifiant par différents types d'arguments (Albe & Ruel, 2008; Barma & Guilbert, 2006; Reid, 2007; Vander Borght, 2002) : économiques, utilitaires, humanistes, démocratiques ou éthiques. La vision économique ou technocratique (Barma & Guilbert, 2006) considère l'élève comme un futur scientifique. Cette finalité de l'enseignement des sciences se justifie par un besoin de préparer la relève scientifique et par une préparation à l'emploi. La vision humaniste ou culturelle et sociale considère la science comme un élément de culture au même titre que les sciences humaines. La finalité est alors de permettre « *le développement du potentiel intellectuel d'une personne en construction ainsi [que le] développement de compétences générales* » (Barma & Guilbert, 2006, p. 22). La vision utilitaire est centrée sur le développement de compétences utiles dans la vie quotidienne. La vision démocratique, quant à elle, est liée à l'éducation à la citoyenneté. L'enjeu de l'éducation scientifique est ici d'amener l'élève à mieux comprendre les choix de société et leurs conséquences. « *Les relations de pouvoir du type top-down (de l'expert au profane) seront rééquilibrés par le bottom-up (du citoyen « expert de son milieu » vers les scientifiques) dans un processus de coconstruction et de partage d'expertises différentes, mais complémentaires* » (Barma & Guilbert, 2006, p. 26). Enfin, la finalité éthique vise l'explicitation des valeurs de la science (Vander Borght, 2002).

3.2.3 Les recherches sur les curricula

L'opérationnalisation des finalités nouvelles définies au sein de la noosphère entraîne des évolutions de curricula et des programmes scolaires. Il semble que la notion de curriculum soit difficile à préciser car la définition n'est pas réellement stabilisée. Rey (2010) retient pour sa part qu'un curriculum s'organise autour de trois pôles : « *les apprentissages visés, les processus didactiques mis en œuvre pour les atteindre et les situations d'évaluation* » (p. 3). Selon Mangez et Liénard (2008), il existe deux manières de penser le curriculum et ses transformations : un courant sociologique et un courant épistémique et didactique. Très développée dans les pays anglo-saxons, la sociologie du curriculum est apparue en France dans les années 70 à travers les travaux de Forquin et considère le curriculum comme un construit social. Pour ce champ de recherche, « *il s'agit de comprendre le curriculum dans ses interactions avec des réalités sociales, culturelles, politiques qui lui sont au moins partiellement extérieures et qui peuvent être saisies soit au niveau pédagogique, soit au niveau d'une formation sociale dans son ensemble ou à des niveaux intermédiaires ou locaux* » (Mangez & Liénard, 2008, p. 103).

Quant aux recherches liées au second courant, elles s'orientent dans plusieurs directions. Des « recherches pour » avec une visée d'opérationnalité sont menées par certains chercheurs où l'expertise didactique contribue à l'objectivation des critères de choix comme le précisent Larcher, Lebeaume et Magneron (2006). Ainsi, dans un programme de recherche pour l'UNESCO à propos de l'enseignement des sciences dans les pays francophones, Giordan et Girault (1994) étudient les principaux objectifs d'un tel enseignement. Ils identifient plusieurs raisons d'enseigner les sciences et les techniques qu'ils regroupent autour de huit ensembles d'intérêts non hiérarchisés : professionnels ou économiques, sociopolitiques, pratiques, opératoires, métacognitifs, éthiques, épistémologiques, ludiques. A partir de ces raisons, ils avancent des priorités pour penser l'opérationnalisation des finalités : construction d'une attitude scientifique, maîtrise de démarches d'investigation, développement d'une expérience actuelle (empirique et théorique), organisation du savoir autour de concepts structurants, permanence d'un savoir sur le savoir (réflexion épistémologique). Pour sa part, Hodson (2003) plaide pour un renouvellement des curricula pour mieux prendre en compte les besoins, l'intérêt et les aspirations des jeunes citoyens. Duggan et Gott (2002) étudient les besoins de science dans l'industrie et dans le grand public et font des propositions de modifications des curricula pour infléchir la part des contenus conceptuels dans l'enseignement des sciences au profit de la compréhension de la pratique scientifique. De son côté, Matthews (2000, 2007) envisage

des curricula faisant une place aux contenus et savoir-faire de sciences physiques, mais aussi aux méthodologies de ces disciplines et à leurs relations avec la culture et la technologie. Pour cet auteur, cet objectif culturel passe par l'histoire et la philosophie des sciences physiques

Mais des « recherches sur » sont aussi menées pour apporter des éclairages sur les curricula comme le montrent les travaux en didactique curriculaire de l'UMR STEF en France (Lebeaume & Larcher, 2006). L'impact des changements de curriculum sur les pratiques enseignantes est aussi un champ de recherche très développé dans les pays anglo-saxons. Par exemple, Jenkins (2000) s'intéresse au cas de l'Angleterre et du Pays de Galles alors que Millar (2006) analyse l'approche « littéracie scientifique » dans le nouveau curriculum « Twenty First Century Science » en Angleterre.

L'accent mis sur le développement d'une culture scientifique pour tous conduit enfin certains curricula ou certaines recherches à s'intéresser à la pratique du débat scientifique ou socio-scientifique en classe et au développement de l'argumentation. Pour certains chercheurs, la visée est purement culturelle alors que pour d'autres, ces pratiques permettent des apprentissages conceptuels et épistémologiques. Les études anglophones portent particulièrement sur les relations science, technologie et société désignées par l'acronyme STS (Bennett, Lubben & Hogarth, 2006) ou encore sur l'approche socioculturelle (Carter, 2008) alors que les travaux sur les questions scientifiques socialement vives constituent un prolongement de ces courants de recherche plutôt francophones (Albe, 2007; Cavet, 2007; Simonneaux, 2010). Dans ces approches, les élèves sont amenés à discuter et à débattre collectivement pour construire des liens entre connaissances scientifiques et conséquences sociales (Lewis & Leach, 2006; Sadler & Donnelly, 2006). Quant à l'argumentation, elle voit son usage à l'école se multiplier non pas seulement en tant qu'objet d'apprentissage mais en tant que moyen d'apprentissage (Muller Mirza, 2008). En effet, pour cet auteur, trois raisons concourent à l'intérêt des pratiques argumentatives dans l'enseignement des sciences : « *les interactions sociales jouent un rôle central dans la construction de connaissances ; l'argumentation est au cœur de la démarche scientifique ; l'apprenant est acteur dans l'acquisition de nouvelles connaissances* » (p. 8). Pour certains chercheurs, le rôle de l'argumentation en classe est l'apprentissage d'une compétence citoyenne, mais pour d'autres, il peut aussi viser la construction des savoirs en science (Douaire, 2004; Buty & Plantin, 2008) et la place de l'activité langagière y est particulièrement étudiée. C'est le cas par exemple des travaux basés sur le modèle de l'argumentation de Toulmin (Driver, Newton & Osborne, 2000; von Aufschnaiter, Erduran, Osborne & Simon, 2008).

3.3 Les activités expérimentales

Les liens entre les aspects épistémologiques et la place des activités expérimentales dans les pratiques d'enseignement font partie de certaines orientations de recherche en didactique des sciences. Par exemple, Astolfi (1989) étudie la terminologie à l'œuvre dans l'enseignement scientifique à propos de la méthode expérimentale. Il propose une clarification au plan didactique des expressions souvent utilisées dans la littérature pédagogique, comme méthode scientifique, méthode expérimentale, démarche scientifique, démarche expérimentale ou expérimentation, expérience et manipulation, à partir d'une analyse aux plans épistémologique et psychologique. De leur côté, Koulaïdis et Tsatsaroni (1999) présentent différentes positions épistémologiques sur la relation entre observation et théorie. Ils argumentent pour distinguer expérimentation et expérience et tentent de situer les places respectives des modèles et des simulations dans le champ de la pratique. Étudiant la question des pratiques expérimentales dans l'enseignement de la biologie, Coquidé (2000) distingue, elle aussi, ces deux concepts et s'intéresse aux activités d'expérimentation et d'expérimentation du vivant. Plus récemment, Brénasin (2007) expose un modèle représentant le fonctionnement de la démarche expérimentale qui lui sert de cadre d'analyse de certains phénomènes d'enseignement de la physique. Elle propose ensuite des

modifications pour faire évoluer cet enseignement vers une meilleure prise en compte de la démarche expérimentale, « *indispensable à la formation de l'homme moderne qui veut comprendre comment fonctionne le monde auquel il appartient* » (p. 3).

Pour Johsua et Dupin (1993), le problème de la désynthétisation à l'œuvre dans la transposition didactique concerne aussi la composante expérimentale de l'enseignement des sciences. Ces auteurs repèrent deux options possibles pour un enseignement à caractère expérimental. La première, l'option synthétique, liant les aspects conceptuels aux phénomènes, est peu employée (Johsua, 1985). La seconde, l'option analytique à point de départ expérimental, s'avère la plus employée. Johsua et Dupin étudient le fonctionnement et les contraintes de celle-ci en discutant particulièrement les problèmes de la dévolution, s'appuyant sur la « monstration », et de la validation des modèles.

En France, depuis notamment la réforme de 1902, la place de l'expérience dans les pratiques d'enseignement, et particulièrement dans les travaux pratiques, est très discutée, comme le montre l'analyse historique menée par Goffard (2007) à travers les articles publiés dans le Bulletin de l'union des physiciens. Cette question de « l'expérimental » dans l'enseignement des sciences physiques est au centre des préoccupations des prescripteurs comme des enseignants. Pour nombre d'entre eux, malgré les différents changements de curriculum, les difficultés de l'enseignement des sciences physiques seraient dues aux programmes trop « théoriques » et pas assez « expérimentaux ». Johsua et Dupin (1993) montrent comment ce phénomène est lié à un positionnement épistémologique prégnant concernant le fonctionnement des sciences. Les options inductivistes, héritées du positivisme, dictent en effet les options pédagogiques et indiquent la bonne méthode pour enseigner les sciences physiques. Cela conduit ainsi à « *une pratique d'enseignement fortement typée, où tout est bâti de manière à contourner, gommer ou nier les relations forcément complexes entre l'expérience et la modélisation Et cela, à son tour, conduit, paradoxalement, à un très net appauvrissement de la fonction et du contenu du rapport à l'expérimental en situation scolaire* » (Johsua, 1989, p. 28). Cette préoccupation ne semble pas spécifique de la situation française puisqu'on retrouve ce phénomène dans une étude d'Abrahams et Millar (2007) sur l'efficacité des pratiques expérimentales auprès d'élèves anglais de 11 à 16 ans. Ces auteurs montrent que les enseignants possèdent une vision inductiviste de l'apprentissage des sciences et ils préconisent des mesures pour amener les professeurs à varier les types de tâches proposées aux élèves dans ce genre de séance de classe. Plutôt que de concevoir la production de phénomènes par les élèves comme une fin en soi, il faudrait mettre l'accent sur la construction de liens entre les observations et les aspects théoriques.

Les didacticiens français développent de nombreux travaux pour comprendre comment les élèves apprennent les sciences et pour déterminer les rôles possibles de l'expérience dans ce processus (Beaufils & Larcher, 1999; Larcher & Goffard, 2003). Sous l'influence des thèses constructivistes ou socioconstructivistes, et en adoptant bien souvent l'approche épistémologique de Bachelard, des séquences d'ingénierie didactique sont ainsi testées dans des situations de classe. Les résultats de ces travaux diffusent peu à peu dans les programmes scolaires et dans la communauté enseignante. Ajoutons que l'Inspection générale de sciences physiques et chimiques se penche aussi sur la question (1996, 1997) et l'introduction d'une évaluation des capacités expérimentales dans la série scientifique du baccalauréat confirme cette nouvelle orientation. Enfin, au niveau du lycée, les Instructions officielles actuelles, comme les documents d'accompagnement des programmes, abordent cette question. Le programme de la classe de seconde actuellement en vigueur « *insiste sur le fait que la pratique expérimentale dans l'enseignement ne favorise la formation de l'esprit scientifique que si elle est accompagnée d'une pratique du questionnement et de la modélisation* »²⁵. Ce positionnement est repris et développé dans le nouveau programme²⁶

²⁵ B.O.E.N. Hors Série n°6 du 12 août 1999, p. 8.

applicable à la rentrée 2010. En effet, deux paragraphes du préambule développent les liens entre « la démarche scientifique » et « l'approche expérimentale » et leurs implications pédagogiques. De plus, le nouvel enseignement d'exploration « sciences et laboratoire », introduit par la réforme de la structure de la classe de seconde, s'appuie principalement sur « *une pratique soutenue de la démarche scientifique dans le cadre d'activité de laboratoire* ». Le document précise que « *la pratique expérimentale est le moyen qui sera privilégié dans cet enseignement pour répondre à une question ; elle favorisera la formation de l'esprit scientifique si elle est accompagnée par un objectif précis en amont et par un regard critique sur la réponse apportée en aval* »²⁷.

De son côté, l'équipe DidaSco étudie les activités expérimentales menées en travaux pratiques dans les premières années d'université et dans l'enseignement secondaire en mettant l'accent sur les activités de mesurage et de traitement de données (Beney & Séré, 2001; Coelho, 1993; Journeaux & Séré, 1995; Séré, Journeaux & Winther, 1997) ou encore sur les liens développés entre expériences, théories et modèles (Richoux, 2000). « *Ces différents travaux ont contribué à ranger dans le domaine des mythes quelques peu naïfs l'enseignement de « la » démarche expérimentale* » (Beney & Séré, 2005, p. 237). Par exemple, Beney (1998) montre que les enseignants chargés des séances de travaux pratiques à l'université utilisent de nombreux savoirs procéduraux pour réaliser les mêmes TP que leurs étudiants. Cependant, ces derniers ont peu recours à ces savoirs procéduraux et, de plus, les enseignants oublient le plus souvent de les expliciter. Ces orientations de recherche ont conduit l'équipe à coordonner un projet international subventionné par la Commission européenne « *Labwork in Science Education* »²⁸ comportant plusieurs volets : une enquête sur les structures de l'enseignement expérimental dans les différents pays engagés dans le projet ; une enquête sur les « images des sciences » que les enseignants souhaitent transmettre par les travaux pratiques et celles que perçoivent les élèves ; une série d'études de cas dans cinq pays (Séré et al., 2001). Ce projet permet de dégager un certain nombre de conclusions tant sur la conception des travaux pratiques, leur réalisation et leur déroulement que sur la façon dont ils sont perçus par les élèves. Il conduit à proposer des recommandations pour améliorer l'efficacité de l'enseignement des sciences à travers les activités expérimentales.

Plusieurs panoramas des recherches internationales sur le thème des activités expérimentales dans l'enseignement des sciences, publiés récemment, montrent que le champ d'investigation est très vaste. Goffard (2003) et Méheut (2006) identifient différentes orientations dans ces travaux : repérage des types d'activités et des objectifs assignés à celles-ci, analyse des conditions d'efficacité des travaux pratiques, mise au point de situations didactiques favorisant les liens avec les démarches scientifiques, identification des obstacles provenant notamment des représentations sur la nature de la science et sur son fonctionnement chez les élèves et leurs enseignants. Goffard note que peu de travaux en didactique des sciences physiques sont menés en France directement sur le thème de l'expérience mais plutôt sur la modélisation et la construction des concepts, contrairement à d'autres pays. Elle se demande si cela ne serait pas dû à des traditions de l'enseignement de ces disciplines, raison déjà avancée par Johsua et Dupin (1993). Mais l'arrivée de nouvelles prescriptions tournées vers des démarches d'investigation scientifique changera peut-être la situation comme le note d'ailleurs Méheut (2006). Par ailleurs, celle-ci constate que les buts affectés aux activités expérimentales sont multiples : motiver les élèves, développer des habiletés manipulatoires, favoriser l'apprentissage de connaissances, de

²⁶ B.O.E.N. Spécial n°4 du 29 avril 2010.

²⁷ B.O.E.N. Spécial n°4 du 29 avril 2010, p. 1/4.

²⁸ Ce projet « *Improving science education : issues and research on innovative empirical and computer-based approaches to Labwork in Europe* » a analysé les activités expérimentales en biologie, chimie et physique dans plusieurs pays européens. Il a donné lieu à de nombreuses publications dont une synthèse des travaux (Psillos & Niedderer, 2003, cité par Séré et al., 2001).

méthodes ou d'attitudes scientifiques. Mais les formes sont souvent stéréotypées et « directives ». Les critiques et les propositions repérées s'orientent vers le développement d'une culture scientifique reposant sur la construction par les élèves de représentations des activités et des démarches scientifiques. Pour cela, il faudrait proposer de nouvelles activités délivrant « *une image plus riche et diversifiée des démarches scientifiques : formulation, reformulation d'une question, d'un problème ; formulation d'hypothèses, planification d'expériences, amélioration d'un protocole, contrôle des facteurs, recueil et traitement des données, interprétation des données, usage de simulations, débats, etc.* » (p. 60). D'autres propositions insistent sur l'autonomie des élèves qu'il faudrait favoriser en s'appuyant sur des tâches plus ouvertes et des activités de plus haut niveau cognitif. Méheut présente aussi quelques résultats de recherches sur les démarches spontanées des élèves dans des activités de formulation et de test d'hypothèses qui donnent des indications sur les stratégies d'enseignement des démarches scientifiques tenant compte des possibilités cognitives des élèves.

Pour leur part, Hofstein et Lunetta (2004) reprennent une revue de la question qu'ils avaient réalisée en 1982 et ils mettent à jour les nouveaux problèmes et les solutions envisagées autour des thèmes suivants :

- « *learning science in the laboratory with special attention to scholarship associated with models of learning, argumentation and the scientific justification of assertions, students' attitudes, conditions for effective learning, students' perceptions of the learning environment, social interaction, and differences in learning styles and cognitive abilities ;*
- *goals for learning, discrepancies, and matching goals with practice with special attention to : goals for learning, students' perceptions of teachers' goals, teachers' expectations and behavior, the laboratory guide, incorporating inquiry empowering technologies, simulations and the laboratory, assessing students' skills and understanding of inquiry, and the politics of schooling ;*
- *teacher education and professional development.* » (p. 31)

Ils notent que des activités expérimentales peuvent aider les élèves à développer des idées sur la nature de la science et sur la nature de la communauté scientifique. Mais ils précisent que de sérieuses contradictions sont repérées par les recherches actuelles entre ce qu'il est recommandé d'enseigner et ce qu'il se passe réellement en classe à propos des activités expérimentales. Au même titre que Goffard (2003), ils recommandent aux chercheurs de s'intéresser à cette question. Pour sa part, Hodson (2006) apporte des éléments de réponse à ces contradictions. Cet auteur distingue le travail pratique (*practical work*) et le travail en laboratoire (*laboratory work*) puisque le premier « *n'est pas toujours accompli en laboratoire et que tout travail en laboratoire n'est pas nécessairement expérimental* » (2006, p. 61). A partir d'une analyse des résultats d'études menées notamment sur les justifications des enseignants relativement à l'utilisation du travail pratique, il montre que celui-ci « *ne susciterait pas toujours la motivation, l'amélioration de l'apprentissage et le développement des habiletés et des attitudes* » (2006, p. 65) recherchées. Plusieurs raisons sont avancées par Hodson pour expliquer ce constat. La principale serait que les enseignants et les chercheurs ne font pas la distinction entre apprendre la science (acquisition des concepts scientifiques), apprendre à propos de la science (compréhension de la nature de la science et de ses méthodes, repérage des interactions entre science, technologie, société et environnement) et faire de la science (pratique de l'investigation scientifique et de la résolution de problèmes). Pour Hodson, « *même s'ils sont interreliés, ces objectifs diffèrent et exigent donc de recourir à des approches diverses* » (2006, p. 67). Cette distinction lui permet alors de discuter de manière détaillée les conditions d'efficacité du travail pratique en classe autour de cinq objectifs d'apprentissage : la motivation, l'acquisition d'habiletés, apprendre la science, apprendre à propos de la science et faire de la science. Ajoutons enfin qu'Abrahams et Saglam (2009) montrent que la perception par des enseignants anglais et gallois de l'usage du travail pratique avec les élèves de 15 à 18 ans a changé ces dernières

années. Cette modification serait due au changement des critères d'évaluation lié à l'introduction de l'investigation scientifique dans les nouveaux curricula et à l'accent mis par l'institution sur l'amélioration de l'image de la science.

3.4 Les activités de modélisation

La place des modèles dans la pratique scientifique est essentielle si l'on considère que la science constitue un système de représentation du monde qui nous entoure. Certaines recherches en didactique des sciences se sont orientées vers le repérage et l'analyse des conditions d'une meilleure liaison entre expérimental et modélisation en situation de classe. Nous avons déjà abordé ce thème au chapitre 1 en présentant notre première expérience de recherche en didactique des sciences (Boilevin, 1993; Boilevin et al., 1996). Même si la définition du terme modèle ne semble pas stabilisée (Bachelard, 1989; Drouin, 1988; Halbwachs, 1974; Host, 1989; Walliser, 1977), les didacticiens des sciences (Johsua & Dupin, 1989, 1993; Larcher, 1996; Martinand, 1992, 1994b; Robardet & Guillaud, 1997; Tiberghien, 1994) se sont emparés de la question pour discuter de la place des modèles et des activités de modélisation dans la classe. En effet, « *la question des rapports entre concret et abstrait formel, celle de l'articulation entre expérimental et théorique, passe par la prise en compte des modèles, des rôles que nous voulons leur faire jouer, de la manière dont ils peuvent être appropriés* » (Martinand, 2005, p. 174). Les difficultés sont nombreuses et « *surtout, l'insatisfaction ressentie devant un enseignement dogmatique où les modèles sont présentés comme des évidences non questionnées, non rattachées à des problèmes, le rejet par les élèves de ce dogmatisme, la critique destructrice l'année suivante de ce qu'on a introduit, incitent à réfléchir sur la manière dont on pourrait enseigner et faire apprendre la modélisation, c'est-à-dire la construction, l'adaptation, l'utilisation de modèles* » (Martinand, 2005, p. 175). L'enjeu pour l'éducation scientifique est donc de trouver comment donner aux modèles manipulés en classe leurs caractéristiques essentielles (hypothétique, modifiable, domaine de validité particulier).

Pour Martinand (2005), les travaux de l'équipe du LIREST ont permis des avancées dans quatre directions : celle de l'objectivation des rapports à l'expérience et de la construction du référent empirique, celle des rapports entre conceptualisation et modélisation, celle des opérations intellectuelles mises en jeu dans les tâches d'objectivation et de modélisation, celle des actions et des médiations des enseignants dans leurs dimensions matérielles, contextuelles et sociales.

Les nombreux travaux français ont permis d'avancer dans la réflexion épistémologique (par exemple, Sensévy, Tiberghien, Santini, Laubé & Griggs, 2008), notamment grâce aux schémas de la modélisation proposés par Martinand ou par Tiberghien, et dans la mise en œuvre de séquences de classe où les élèves sont confrontés aux modèles et aux activités de modélisation. On trouve ainsi des séquences proposant un modèle explicatif rendant compte des expériences présentées en électricité (Auric, Clément & Dupin, 1989), un modèle précurseur en chimie, enrichi au fur et à mesure de l'avancée du cours (Chomat, Larcher & Méheut, 1988), des activités de modélisation et de conceptualisation (Bécu-Robinault, 1997; Lemeignan & Weil-Barais, 1988) ou des aides didactiques en mécanique (PROPHY, 1990) et en optique (Kaminski, 1991). Il semble cependant que ces propositions peinent à diffuser auprès des enseignants. Pourtant, des études récentes auprès d'élèves de lycée (Toix, Vince & Tiberghien, 2005; Coince et al., 2006) montrent qu'ils sont capables d'avoir des points de vue plus ou moins élaborés sur les modèles et la modélisation. Leurs idées sont souvent en accord avec les points de vue épistémologiques développés par les chercheurs, montrant ainsi que les élèves ont la possibilité de comprendre le fonctionnement

de la physique et de la chimie. Le groupe SESAMES²⁹ construit une véritable épistémologie scolaire distinguant d'une part, les objets et les événements des théories et des modèles pour expliciter les liens à établir, et d'autre part, les connaissances de la physique et de la chimie des connaissances du quotidien pour expliciter les liens à établir. De plus, ce modèle épistémologique porte une attention toute particulière au vocabulaire utilisé et aux connaissances initiales des élèves (Gaidioz & Tiberghien, 2003; Gaidioz, Vince & Tiberghien, 2004) et il conduit à faire des propositions de séquences d'enseignement et d'outils opératoires pour aider les élèves à comprendre le fonctionnement de la physique et son articulation avec le quotidien (Coince et al., 2006).

Les apports des technologies de l'information et de la communication sont multiples dans l'éducation scientifique mais certains sont spécifiques de l'enseignement des sciences et ils font l'objet de recherches didactiques sur la saisie et le traitement automatique de données ou encore sur le recours aux ordinateurs comme outil de simulation (Coquidé & Le Maréchal, 2006). Dans ce dernier cas, les études entreprises s'intéressent aux possibilités offertes de visualiser des modèles ou d'utiliser les ordinateurs comme outil de modélisation (Beaufils, 2005; Beaufils & Ramage, 2004; Buty, 2003; El Bilani, Montpied & Le Maréchal, 2007; Méheut, 1997; Zmyrniou & Weil-Barais, 2005). Ces recherches montrent de plus que les activités d'expérimentation sur modèle, proposées par les simulations numériques, peuvent être complémentaires des activités expérimentales classiques mais qu'elles nécessitent une réflexion sur le guidage et les outils didactiques (Beaufils, Blondel, Richoux & Salvétat, 2002).

3.5 Place du problème dans l'enseignement de la physique

La place qu'occupe le problème dans la pratique scientifique est essentielle mais l'idée de problème envahit aussi le monde de l'éducation depuis quelques années. Ainsi, des expressions comme situation-problème, problème ouvert, situation ouverte, apparaissent dans la littérature pédagogique concernant l'enseignement des sciences (manuels, revues d'association de spécialistes³⁰, sites Internet institutionnels ou non) comme chez les prescripteurs (Instructions Officielles) ou encore dans les documents d'accompagnement des programmes. De leur côté, les recherches en didactique des sciences sur la résolution de problème dans l'enseignement sont nombreuses. Les problématiques ont évolué à partir d'approches épistémologiques, psycho-cognitives et didactiques prenant en compte différents types de contraintes liées à la nature du savoir scientifique, aux mécanismes d'apprentissage et à l'existence des connaissances préalables des apprenants. Ces recherches ont conduit à la construction d'un ensemble de propositions didactiques pour participer à l'enseignement des sciences.

Nous présentons ci-dessous les recherches sur ce thème que nous avons menés dans le cadre du travail de thèse et dans son prolongement (Boilevin, 2000; Boilevin & Dumas-Carré, 2001a; Boilevin, 2005a).

3.5.1 Qu'est-ce qu'un problème ?

Le mot problème est apparu tardivement dans la langue française, remplaçant peu à peu le mot question. De l'étude étymologique, Fabre (1999) tire trois réseaux sémantiques délimitant le mot « problème » : l'initiative ou le projet, la difficulté ou l'obstacle, la saillance

²⁹ Les travaux de recherche-développement du groupe SESAMES, soutenu par l'INRP et l'académie de Lyon, s'appuient sur le schéma de modélisation, proposé par l'équipe COAST de l'UMR ICAR, distinguant d'une part le monde des objets et des phénomènes, et d'autre part le monde des théories et des modèles.

³⁰ Nous pensons au Bulletin de l'Union des Physiciens et à la revue de l'Association des Professeurs d'Initiation aux Sciences Physiques.

ou le significatif. Ces trois dimensions sont questionnées par cet auteur à l'aide des travaux de la psychologie cognitive et de certains points de vue épistémologiques. La première orientation permet de mettre l'accent sur la tâche et sur l'activité du sujet résolvant le problème (Weil-Barais, 1993). Il faut alors distinguer la description objective de la tâche faite par l'expert de la représentation subjective que s'en fait le sujet qui traite le problème. Les recherches portent alors sur le processus de résolution de problèmes insistant en particulier sur deux étapes importantes : la représentation du problème et l'élaboration de la solution. L'étude des rapports entre théorie et faits d'observation a amené les épistémologues contemporains à abandonner une vision inductiviste de la démarche scientifique pour une approche hypothético-déductive. Dans le rapport dialectique entre théorie et réalité, la démarche du physicien se fait alors résolution de problème. Pour Fabre, « *le problème devient la catégorie centrale de l'épistémologie antipositiviste* » (Bachelard, Popper). Mais « *le souci omniprésent du problème ne garantit en rien que soient sauvegardées toutes les exigences de la problématicité* ». Fabre met en garde contre trois propositions sur lesquelles s'appuie le paradigme du problème : « *les réponses sont plus fondamentales que les questions ; savoir si les réponses sont vraies ou fausses est la seule chose vraiment importante ; le plus déterminant dans la pensée, c'est de savoir résoudre les problèmes.* » Mais pour cet auteur, cette vision dogmatique du problème peut être compensée par les idées de Bachelard ou celles du pragmatisme (en particulier Dewey) qui mettent l'accent sur la construction du problème (la problématisation).

Que deviennent ces différents points de vue dans le domaine de la physique et de son enseignement ?

Chez Dumas-Carré et Goffard (1997, p. 7) « *pour qu'il y ait problème, il doit y avoir une question qui a du sens et nécessite une réponse qui n'est pas connue, sinon il n'y aurait que rappel de connaissances mémorisées. La résolution d'un problème consiste à élaborer un raisonnement qui conduit de la question à la réponse, en utilisant des connaissances déjà acquises. Si le chemin était connu, il s'agirait aussi de rappel de connaissances.* » De Vecchi et Carmona-Magnaldi (1996) ajoutent que les problèmes rencontrés en milieu scolaire ne sont en fait que des exercices puisqu'ils se résument bien souvent « *à un questionnement venant d'une personne (maître ou auteur du manuel) et devant être résolue par une autre personne (apprenant)* ». Johsua et Dupin (1993) insistent sur les niveaux de distinction d'un problème. Tout d'abord, un problème rencontré en classe de sciences n'est pas un problème naturel. « *L'existence du problème dans la classe ne va pas de soi ; c'est une construction externe à la classe* » qui nécessite une dévolution. Le mot problème est en effet souvent employé pour désigner la tâche, comme s'il s'agissait effectivement d'un problème pour les élèves à qui l'on propose cette tâche. En fait, proposer des problèmes en classe relève d'un travail didactique considérable, comme le précisent ces deux auteurs. Dumas-Carré et Goffard, pour leur part, s'attachent à comparer les problèmes de la vie quotidienne et les problèmes scolaires académiques. Elles insistent sur le fait que dans le premier cas, seul le résultat obtenu compte alors que dans le second cas, le résultat importe peu d'un point de vue pratique, c'est la façon dont il a été obtenu qui importe. En effet, la résolution du problème permet de donner du sens aux connaissances de physique. Ces auteurs s'interrogent alors sur la finalité des activités de résolution de problèmes scolaires.

3.5.2 Résolution de problème : de la psychologie cognitive à la didactique de la physique

Les recherches en didactique sur ce thème trouvent leur origine dans les travaux de psychologie cognitive et particulièrement sur l'approche « traitement de l'information » (par exemple Newell & Simon, 1972; Richard, 1990) qui met l'accent sur les processus de résolution de problèmes et sur les mécanismes d'acquisition. Newell et Simon cherchaient à mettre en évidence l'existence de stratégies générales de résolution de problème, indépendantes de tout contenu. Mais ce projet a échoué et il apparaît raisonnable de

considérer que la nature du problème peut induire des processus de résolution et des heuristiques différents.

Plusieurs axes de recherche ont été développés par les didacticiens des sciences autour de la résolution de problème : les finalités (évaluation et/ou apprentissage de la physique), l'analyse des tâches proposées aux élèves, la place de l'erreur, les guidages à mettre en place, la recherche d'une stratégie type (résolution exemplaire). Dans ce dernier type de recherche, les travaux tirés du modèle épistémique de l'expert occupent une place importante. Ainsi, Chi, Feltovich et Glaser (1981) s'appuient sur une catégorisation et une représentation des problèmes de physique par les experts et les novices pour comparer ces deux populations. Ils mettent en évidence, non pas une limitation dans les procédures générales, mais une nette différence des bases de connaissances. S'appuyant sur ces résultats, Reif (1983) met en place un enseignement spécifique au niveau universitaire pour aider les novices à construire une représentation du problème proche de celle des experts. Cet apprentissage méthodologique est basé sur le repérage de plusieurs phases dans la résolution de problème : représentation, planification, traitement et évaluation des résultats mais conçu dans une perspective transmissive de l'enseignement. En France, Hulin (1990b) propose, dans le cadre d'une réflexion sur la rénovation de l'enseignement des sciences, d'abandonner le traditionnel « problème de physique » utilisé en contrôle des connaissances. Il envisage d'organiser une véritable réflexion scientifique des élèves autour de l'idée de résolution exemplaire et il décrit le « protocole d'approche des problèmes » (PAP) comportant trois étapes (description qualitative, mise en place de l'étude quantitative, traitement quantitatif préliminaire) avant le traitement quantitatif proprement dit.

De son côté, le groupe PROPHY (Caillot & Dumas-Carré, 1987) élabore un projet d'enseignement d'une méthode de résolution de problèmes de mécanique au lycée basée sur une stratégie mettant l'accent sur l'aide à l'expression de la représentation du problème par les élèves. Les résultats obtenus par cet enseignement méthodologique apparaissent mitigés (Caillot & Dumas-Carré, 1987; Dumas-Carré & Goffard, 1997; Goffard, 1990). Les guides utilisés précédemment sont alors abandonnés mais les aides cognitives mises au point (diagramme objet-interaction, découpage temporel, bande dessinée) sont conservées dans une autre étude où l'enseignement des aides à la modélisation s'est fait conjointement à celui des concepts et à l'étude des questions au programme (Goffard, 1990). Toujours dans la recherche d'une stratégie type de résolution, les travaux du groupe PROPHY se sont alors orientés vers la comparaison de sujets en situation semblable. En effet, l'expert ne semble pas une bonne référence puisqu'il maîtrise déjà toutes les connaissances du domaine. Il ne se trouve donc pas en situation de résolution de problème mais en position de reconstruction de résolution à partir de procédures connues ou en situation de reproduction de solution connue. Une autre pratique sociale de référence a alors été trouvée parmi les activités du chercheur scientifique, en particulier lorsque celui-ci résout un problème. De plus, les tâches proposées dans les problèmes coutumiers (Dumas-Carré, 1987) ne permettent pas d'atteindre cet objectif. En effet, la première fonction prise en compte par l'enseignant est la fonction d'évaluation alors que la seconde fonction est celle d'apprentissage. Mais dans les deux cas, ce sont les mêmes énoncés qui sont utilisés dans la pratique scolaire. Cet amalgame entre deux finalités différentes semble dommageable pour ce qui concerne la fonction apprentissage et amène à proposer d'autres types de problème. Retenant un certain nombre d'activités intellectuelles transposables en résolution de problèmes papier-crayon, l'équipe française développe ainsi, conjointement avec des chercheurs espagnols, un type d'activité de classe utilisant des situations problématiques ouvertes sans données et une organisation particulière de la classe (Dumas-Carré, Caillot, Martinez-Torregrossa & Gil-Perez, 1989, 1992; Goffard & Dumas-Carré, 1993; Dumas-Carré & Goffard, 1992, 1997; Gil-Pérez, 1993; Furio-Mas, Iturbe-Barrenetxea & Reyes-Martin, 1994).

3.5.3 Modélisation de l'activité de résolution de problème ouvert

Ce type d'activité de classe a été modélisé³¹ dans le cadre de notre travail de thèse (Boilevin, 2000). Pour parler de problème ouvert sans données, les tâches proposées aux élèves doivent posséder les caractéristiques principales suivantes :

- la situation à étudier est décrite en termes de phénomènes, d'objets ;
- la situation est ouverte, sans données (les grandeurs susceptibles d'intervenir sont à déterminer, les conditions aux limites sont à fixer, la modélisation est, elle aussi, ouverte) ;
- la question est posée en termes de phénomènes et d'objets.

Dans l'énoncé coutumier, la représentation et la modélisation du problème sont explicites et ne sont donc pas à la charge de l'élève. De plus la question est posée en termes de grandeur physique à déterminer. Il s'agit simplement pour l'élève d'appliquer les lois de la physique pour obtenir cette grandeur, ces dernières étant suggérées par l'énoncé du problème. Par contre, à partir du texte du problème ouvert et de la formulation de la question, plusieurs problèmes sont envisageables. Suivant la représentation de la situation problématique et des choix de modélisation faits, différents énoncés pourront être proposés et traités. L'énoncé coutumier apparaît alors comme l'un des problèmes possibles à partir du problème ouvert, suivant les fermetures³² opérées au cours des choix de représentation et de modélisation par exemple.

Le recours à des problèmes ouverts sans données permet ainsi à l'élève de développer des activités cognitives absentes très souvent dans la résolution traditionnelle d'un problème de physique :

- travailler la précision de la situation, la représentation du problème ;
- émettre des hypothèses, rechercher les facteurs pertinents ;
- choisir une modélisation, travailler les limites d'utilisation du modèle utilisé ;
- rechercher différents chemins de résolution ;
- exprimer ses idées, ses préconceptions.

Le rôle des élèves et celui du professeur sont alors nettement modifiés par rapport à la pratique traditionnelle. Nous proposons de synthétiser ce modèle par le schéma suivant (fig. 1). Il repose sur trois appuis théoriques essentiels qui amènent à penser l'apprentissage des sciences physiques comme une construction personnelle. Pour que cet apprentissage ait lieu, il convient de proposer des activités cognitives spécifiques aux apprenants et donc des tâches particulières possédant des caractéristiques et des contraintes précises, ce qui implique de nouveaux rôles pour le professeur. En référence au point de vue socioconstructiviste, ce modèle considère que l'élève construit ses connaissances par une interaction active avec son environnement physique et social, notamment en situation de résolution de problèmes. La science est vue comme un processus collectif de construction d'une représentation de la réalité. Le concept d'intersubjectivité remplace alors celui d'objectivité. Le discours scientifique n'existe que s'il est reconnu comme tel par la communauté partageant les mêmes critères de rationalité et de preuve, les mêmes exigences méthodologiques, etc. Enfin, le concept didactique de pratique sociale de référence désigne les activités sociales pouvant servir de référence à des activités scolaires.

Pour analyser ce modèle, nous avons repéré six catégories le structurant :

³¹ Les mots modèle et modélisation sont utilisés ici dans le sens qu'ils possèdent en sciences et ils ne renvoient pas à l'idée d'un modèle à imiter. Il s'agit d'une construction théorique rendant compte des pratiques observables.

³² Par fermeture, il faut comprendre un problème traditionnel fermé (conditions et modélisation précisées) compatible avec la situation ouverte étudiée. Le professeur guide les élèves vers certaines fermetures, suivant ses objectifs et les possibilités des élèves.

3.5.3.1 Caractéristiques des tâches

Il s'agit de problèmes ouverts sans données, occasions de faire développer certaines activités intellectuelles non habituelles comme la représentation de la situation, le passage de la description des phénomènes et des objets à une description utilisant des concepts et des modèles de la physique, l'émission d'hypothèses, toutes ces activités amenant une prise en compte des conceptions des élèves. Ajoutons qu'un retour synthétique sur les différentes étapes suivies pour résoudre le problème assure une fonction d'apprentissage auprès des élèves en fin de séquence.

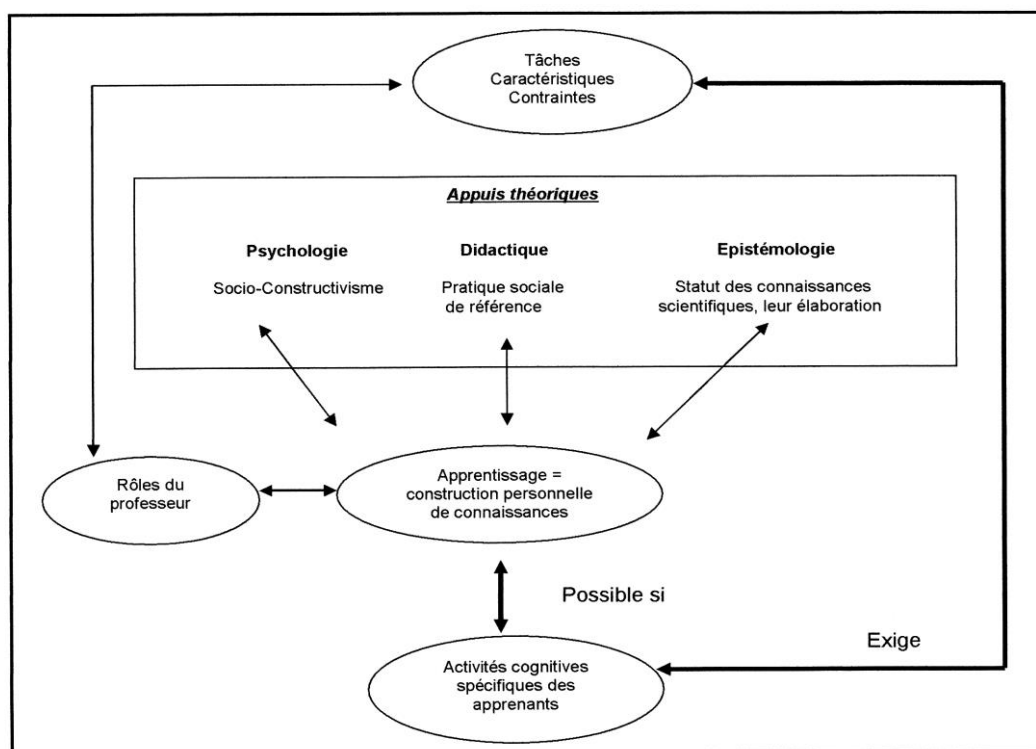


Figure 1 : Appuis théoriques du modèle de résolution de problèmes ouverts de physiques

3.5.3.2 Travail en commun

Les phases de recherche et de production sont des élaborations entre pairs, avec communication des idées individuelles et donc avec confrontation des points de vue. Le travail en équipe donne, de plus, une image de la pratique scientifique aux élèves. Les connaissances sont construites à partir des interactions entre élèves et elles sont validées à un moment donné de l'histoire du groupe classe.

Comme l'a signalé Goffard (1990), dans le dispositif proposé, le maître n'est plus le seul à détenir le savoir puisque les connaissances des élèves sont utilisées et prises en compte par l'ensemble du groupe classe : il y a partage du savoir. De plus, l'enseignant n'est pas celui qui décide seul. Une partie des décisions est laissée à la charge des élèves : il y a partage du pouvoir. Ce nouveau dispositif peut donc déstabiliser non seulement le professeur mais aussi les élèves lorsqu'il est utilisé en classe les premières fois.

3.5.3.3 Communication

Les résultats des recherches sont partagés avec les autres équipes. Ceci montre que le produit de la recherche se partage et se discute. La communication scolaire est ici considérée comme un moyen que se donnent les différents partenaires pour réaliser la tâche

proposée à l'ensemble du groupe classe. La connaissance est un processus de construction nécessitant une communication et une validation entre les individus. Le rôle du professeur est fondamental dans cette phase de travail, notamment dans la gestion des processus de négociation accompagnant la recherche de significations partagées.

3.5.3.4 Rôles du professeur

Les rôles du professeur sont différents suivant les moments. Dans les travaux en petits groupes, il agit comme un guide ou une ressource à la demande et peut ainsi être considéré comme un tuteur. Au cours des discussions en classe entière, il est animateur lorsqu'il organise les prises de paroles des élèves. Dans ces deux rôles, les processus de négociation, de partage de significations et de validation sont essentiels : le professeur est alors médiateur. Enfin, il assure une fonction d'institutionnalisateur (le professeur sait et dit ce qui est conforme à la physique, c'est lui le représentant de la communauté scientifique) aux moments opportuns (en fin de séance notamment).

3.5.3.5 Nécessité ou non de la recherche d'un consensus

Le consensus sur la question à traiter et sur le choix de la modélisation (la problématisation) est important pour traiter le même problème de façon à permettre un réel apprentissage. Par contre, des représentations différentes de la situation problématique peuvent entraîner des hypothèses différentes (c'est en fait l'expression des conceptions qui a lieu). Il en est de même pour les stratégies de résolution envisagées ainsi que le traitement du problème qui peuvent être différents d'un groupe à l'autre. Mais pour éviter qu'un consensus se fasse sur une solution du problème qui ne soit pas valide d'un point de vue scientifique, il est nécessaire que la situation choisie permette une validation externe (recours aux connaissances disponibles chez les élèves, recours à des documents, etc.).

3.5.3.6 Nécessité de langages intermédiaires

Pour passer du référent empirique au registre des modèles physiques, le recours à des systèmes symboliques ou à des langages intermédiaires s'avère nécessaire. En effet, l'apprentissage des sciences physiques consiste, entre autre, à passer d'une description des objets et des phénomènes dans un langage courant à une description en termes de concepts de physique et de chimie. C'est lorsque les concepts sont construits par les élèves que les termes scientifiques utilisés prennent véritablement du sens et deviennent un langage partagé. Or, dans les dispositifs tels que les activités de résolution de problèmes ouverts, les élèves au sein des groupes ne possèdent pas encore de "langage commun". De nombreux chercheurs (Caillot & Dumas-Carré, 1987; Gomatos, 1996; Lemeignan & Weil-Barais, 1993; Viennot, 1989) proposent de s'appuyer sur des aides cognitives pour viser une meilleure communication entre les élèves (intra et inter groupes). Ces aides cognitives (très souvent des représentations symboliques graphiques) s'avèrent efficaces si la représentation symbolique intermédiaire n'ajoute pas de difficultés chez les élèves sensés l'utiliser. Dans les activités de résolution de problèmes, le recours à des langages intermédiaires s'avère particulièrement important dans la phase de représentation du problème par les élèves. Il leur permet de communiquer et donc d'échanger autour de leurs conceptions.

3.5.4 Analyse du modèle d'activité de résolution de problème ouvert construit par des professeurs débutants

Dans le cadre de notre thèse, nous avons proposé à quatre enseignants stagiaires d'IUFM de recourir à une activité de résolution de problème de physique avec leurs élèves. Nous présentons ci-dessous l'analyse des difficultés et des réussites des jeunes enseignants dans la gestion de ce type d'activité (Boilevin, 2000; Boilevin & Dumas-Carré, 2001a).

3.5.4.1 *Le modèle d'activité construit par les stagiaires avant la mise en œuvre en classe*

Ce modèle est présenté à un petit groupe de professeurs stagiaires au cours de leur formation par l'intermédiaire de documents élaborés par le formateur³³, qui donnent un très bref aperçu des recherches sur les activités de résolution de problèmes en physique et les conditions de leur mise en œuvre, et par l'étude de deux articles de recherche de Dumas-Carré et Goffard (1992, 1993).

Il s'agit pour nous d'analyser l'évolution du produit « modèle d'activité », et non pas le processus d'élaboration du modèle par les stagiaires, pour repérer les difficultés et les réussites. Pour cela, nous étudions les différents documents élaborés en commun par le groupe en formation pour préparer une séance de classe utilisant ce modèle : le cahier des charges (éléments clés), le scénario et les fiches individuelles (éléments conjoncturels). Si nous reprenons le schéma synthétique du modèle d'activité proposé figure n°1, nous remarquons que certains blocs (tâches, caractéristiques, contraintes et rôles du professeur) sont assez bien compris alors que d'autres (appuis théoriques, apprentissage et activités cognitives) ne sont pas réellement abordés. Mais c'est surtout l'existence des liens entre ces blocs qui semble ignorée par le groupe de stagiaires. Les aspects organisationnels du modèle sont ainsi fidèlement respectés (caractéristiques des tâches, organisation) mais sans trop comprendre à quoi cela sert. Cette absence de liaison entre règles, modalités, contraintes et implications ne vient-elle pas de la façon dont le modèle a été présenté ? L'accent n'a probablement pas été assez porté sur les appuis théoriques et les conséquences didactiques du recours à un tel modèle aussi bien dans l'analyse des articles servant de base que dans la présentation faite par le formateur.

3.5.4.2 *Analyse des difficultés et des réussites des stagiaires dans la gestion de l'activité selon le modèle*

Il s'agit de repérer les moments où le professeur joue un des rôles prévus et d'étudier les différences constatées par rapport au modèle construit par les stagiaires et par rapport au modèle d'origine pour repérer les difficultés et les réussites dans la gestion de l'activité de résolution de problème ouvert. Le choix est fait de s'intéresser à une des séances de classe assez représentative des difficultés rencontrées par l'ensemble des stagiaires. De plus, il s'agit de la séance³⁴ choisie par le groupe pour analyser sa propre pratique au cours des séances de formation.

Aspects méthodologiques

Plutôt que les propos des uns ou des autres, ce sont les enchaînements interdiscursifs qui nous intéressent dans la mesure où c'est l'interdiscursivité qui est considérée comme le moteur des apprentissages. D'un point de vue méthodologique, l'étude s'appuie sur une transcription écrite de l'enregistrement audio de la séance. On constitue ainsi un protocole des échanges verbaux accompagnés d'annotations pour rendre compte des aspects non verbaux des échanges. Une trace écrite de ce qui a figuré au tableau est aussi constituée. On obtient ainsi un corpus de près de six cents prises de parole numérotées chronologiquement et distinguant les différents interlocuteurs. Les méthodes et les techniques d'analyse de tels corpus peuvent être variées (Dumas-Carré & Weil-Barais, 1996; Gilly, Roux & Trognon, 1999). Pour notre part, nous procédons à la construction de la chronique thématique. L'ensemble des interventions verbales concernant un même objet en débat entre les partenaires de l'échange permet de définir un épisode³⁵, qui reçoit un titre.

³³ Dans cette étude, le formateur est aussi le chercheur.

³⁴ Il s'agit d'une séance de physique (électricité) de 1,5 h pour des élèves d'une classe de seconde.

³⁵ L'unité de découpage est l'épisode, c'est-à-dire ce dont on parle (l'enjeu, le thème, etc.) ou « l'objet en transaction » (Weil-Barais, 1997b).

Ce découpage en épisodes constitue ainsi la chronique thématique de la séance. Cette analyse macroscopique permet d'identifier la dynamique des échanges et de choisir les épisodes qui seront soumis à l'analyse microscopique. De plus, l'analyse de la chronique permet de repérer les épisodes récurrents (objet déjà débattu ultérieurement), possibles révélateurs de dysfonctionnement.

Pour cette séance, nous obtenons 39 épisodes regroupés autour de 7 thèmes. Les épisodes peuvent être très courts (quelques tours de parole seulement) ; d'autres regroupent une trentaine d'interventions verbales.

Nous avons élaboré de plus un codage à partir de l'étude du modèle s'appuyant sur les six catégories présentées (paragraphe 3.5.3.) qui permet de repérer et de comptabiliser les difficultés et les réussites parmi les interventions du professeur : (1) caractéristiques de la tâche (problèmes ouverts sans données) ; (2) travail en commun ; (3) communication ; (4) rôles du professeur ; (5) nécessité ou non de rechercher un consensus ; (6) nécessité de langages intermédiaires. De plus, nous distinguons trois fonctions dans les rôles de l'enseignant : guide dans le travail en petits groupes, animateur au cours des restitutions des travaux de groupes, institutionnalisateur au tableau (notés 4G, 4A, 4I dans le tableau 1).

Résultats

Le tableau 1 comptabilise ainsi, pour l'ensemble de la séquence de classe, les interventions qui concernent les difficultés et les réussites du stagiaire. Nous obtenons ainsi une répartition (en pourcentage) des difficultés et des réussites au sein d'une même catégorie. Certaines catégories sont très peu présentes dans les interventions verbales de l'enseignant : travail en commun, professeur institutionnalisateur, nécessité ou non de la recherche d'un consensus, nécessité de langages intermédiaires. Les quatre autres catégories constituent en fait l'essentiel des interventions. Nous remarquons que l'essentiel des réussites concerne les caractéristiques des tâches alors que les rôles du professeur (guide, animateur) et la communication se répartissent assez équitablement entre réussites et difficultés.

Code	1	2	3	4 G	4 A	4 I	5	6	Total
Difficulté	2	2	7	5	6	1	1	1	25
	14 %	67 %	44%	42 %	50 %	100 %	33 %	50 %	
Réussite	12	1	9	7	6	0	2	1	38
	86%	33%	56%	58%	50%	0%	67%	50%	

Tableau 1 : Répartition des difficultés et des réussites au sein d'une même catégorie

Discussion

Les résultats obtenus peuvent être commentés en reprenant les six catégories d'analyse.

Caractéristiques de la tâche : Les confusions rencontrées notamment à propos de la problématisation et de la représentation du problème proviennent probablement de la mauvaise distinction faite entre le référent empirique et le registre des concepts et des modèles. Il faut peut-être y voir la trace de ce que Robardet (1995a) nomme la « représentation naturaliste ». Ces difficultés d'ordre épistémologique peuvent aussi provenir de la méconnaissance de la pratique de référence par les stagiaires ou bien encore de l'exemple de problème ouvert proposé par le formateur. L'apprentissage des élèves est donc

géné du fait de la non prise en compte des conceptions. De plus, le travail de conceptualisation propre aux activités scientifiques est masqué.

Travail en commun : L'organisation au sein des groupes apparaît conforme au modèle ce qui permet de favoriser les interactions sociales. Mais les appuis théoriques sont non conscients chez les stagiaires.

Communication : Le côté organisationnel est bien pris en compte mais le professeur interfère assez souvent dans les échanges entre les élèves et/ou entre les groupes. Il semble que les élèves, comme le professeur, aient du mal à changer de rôle par rapport à la pratique habituelle. Le partage du pouvoir et le partage du savoir ne se font pas facilement, l'enseignant naviguant souvent entre deux styles bien différents, difficilement identifiables par les élèves. La recherche scientifique apparaît, dans les activités menées par les jeunes enseignants avec leurs élèves, comme un travail d'équipes partageant et discutant leurs résultats. Par contre, la recherche de significations partagées entre tous les interlocuteurs n'est pas réellement effectuée, ce qui ne facilite pas la construction de connaissances par les élèves.

Rôles du professeur : Il semble que l'enseignant soit trop absent dans les phases de travail en petits groupes comme s'il avait peur d'en dire trop aux élèves et d'être directif. Par contre, il ne laisse pas assez de place aux élèves dans les moments de restitution et de discussion en groupe classe (par exemple en ne discutant pas les propositions « fausses » de certains groupes). Les conceptions erronées des élèves ne sont pas réellement discutées, ce qui freine l'évolution de ces dernières et la construction de concepts scientifiques.

Nécessité ou non d'un consensus : La confusion chez les jeunes enseignants entre la problématisation (commune) et la représentation du problème (individuelle) ne permet pas une mise en relation des conceptions des élèves et des concepts scientifiques. En effet, des représentations différentes de la situation problématique peuvent entraîner des hypothèses différentes mais l'expression des conceptions des élèves n'est pas favorisée par les stagiaires. De plus, il est essentiel, pour qu'il y ait un réel apprentissage, que tous les élèves traitent le même problème pour pouvoir comparer les différentes stratégies et les différents résultats obtenus. Ici, la recherche de consensus sur la question à traiter et sur le choix de la modélisation pour que tous les élèves travaillent sur le même problème est abordée très rapidement par les jeunes enseignants.

Langages intermédiaires : Le travail sur le schéma électrique normalisé est bien géré par l'enseignant. Cette représentation symbolique commune aux élèves permet à ces derniers de partager une même problématisation. Par contre, la représentation du problème est confondue par les stagiaires avec les représentations symboliques utilisées (le schéma du circuit électrique et la caractéristique d'un dipôle). Là aussi, rien ne garantit la construction d'un sens partagé par tous les élèves et le professeur au cours de la résolution du problème.

3.5.4.3 Conclusion

Les trois principes de fonctionnement, liés à la pratique de référence (caractéristiques des tâches ; travail en commun ; communication) sont assez bien pris en charge par les stagiaires même si les raisons (laisser aux élèves la charge de certaines activités cognitives) qui ont conduit à certaines caractéristiques des tâches ne sont pas forcément bien repérées. Les trois conditions de mise en œuvre (rôle du professeur ; nécessités ou non de la recherche d'un consensus ; nécessité de langages intermédiaires) ne sont pas bien satisfaites.

En fait, cette étude montre que le sens du recours à un tel type d'outil didactique n'est pas compris, notamment ce qui concerne la construction des connaissances par les élèves. Les aspects organisationnels du modèle de résolution de problème ont surtout été pris en compte par le groupe de stagiaires. D'un point de vue épistémologique, il semble que les stagiaires n'aient pas vraiment conscience que l'apprentissage de la physique passe en

particulier par des activités de conceptualisation. Pour eux, le passage de la description d'une situation en termes de phénomènes à une description en termes de concepts de physique n'est pas un travail à faire avec les élèves puisque cela se réalise « naturellement » en cours de physique. Nous retrouvons les conceptions signalées par Robardet (1995a) chez de nombreux enseignants débutants. Le point de vue constructiviste sur l'apprentissage et le point de vue didactique ne semblent pas réellement repérés par les stagiaires. Ceci paraît cohérent avec la représentation naturaliste des sciences chez les jeunes enseignants dont Robardet (1998) note qu'elle s'accompagne d'un modèle de l'apprentissage où, « s'appuyant sur l'évidence de la perception, l'élève acquerrait une connaissance contextualisée qui se transformerait, par un processus naturel d'abstraction naturelle, en une connaissance générale » (p. 40).

En reprenant le schéma synthétique du modèle d'activité (figure 2), nous pouvons finalement mettre en évidence les éléments (re)construits par les stagiaires, les points auxquels ils paraissent seulement sensibilisés (prise de conscience pas réellement effective) et ce qui semble incompris à ce stade de la formation. Les caractéristiques des tâches et de l'organisation du travail en classe sont assez fidèlement respectées mais sans que soient bien compris les enjeux psychologique, didactique et épistémologique qui ont produit ces caractéristiques et l'organisation du modèle d'activité.

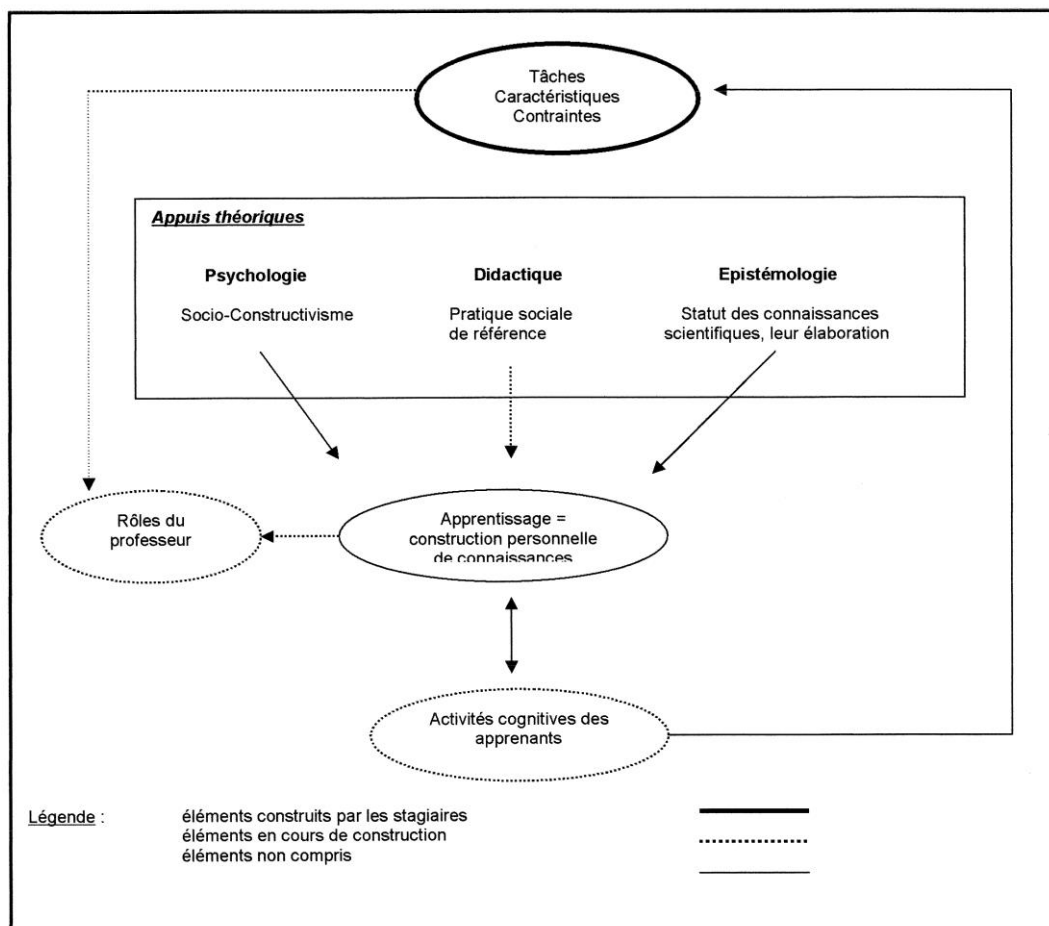


Figure 2 : Schéma synthétique du modèle d'activité de résolution de problèmes construit par les professeurs stagiaires

3.5.5 Autres types d'activités scolaires utilisant le problème de physique³⁶

A propos de l'enseignement de la physique, on trouve depuis quelques années une utilisation fréquente de l'expression situation-problème, parfois de problème ouvert (ou situation ouverte) ou bien encore de TP-top³⁷, dans la littérature pédagogique comme dans les Instructions officielles ou dans les documents d'accompagnement des programmes. Pour justifier cette utilisation, l'intérêt didactique des problèmes est souvent mis en avant par les différents auteurs en mettant l'accent notamment sur la relation entre problème et apprentissage de la physique. Mais la signification même des expressions utilisées pour convoquer le problème de physique ne semble pas stabilisée. De même, les points de vue épistémologiques, psychologiques et didactiques sous-jacents ne sont pas souvent explicités. Le risque est alors grand que des malentendus apparaissent et que des divergences sur les questions d'enseignement-apprentissage naissent de l'utilisation de termes divers (problème, situation-problème, problème ouvert, problématisation) sans qu'un travail sur le sens n'ait été accompli.

Pour notre part, nous avons réalisé une analyse comparative de deux types d'activités rencontrées dans l'enseignement de la physique en France (Boilevin, 2005a) et qui ont fait l'objet de réflexions théoriques et de tentatives de validation par certains chercheurs en didactique : la situation-problème et l'activité de résolution de problème ouvert. La comparaison de ces deux outils didactiques devrait permettre d'interroger notamment la nature et la place du problème dans l'apprentissage de la physique.

3.5.5.1 Principales caractéristiques

La situation-problème est un concept dont le champ d'application s'étend à un grand nombre de didactiques. Mais comme de nombreux concepts forgés de façon pragmatique par les didacticiens, il semble que sa définition soit floue même s'il semble fécond dans l'usage qui en est fait. Dans le cas de la physique, des efforts d'explicitations théoriques ont été entrepris concernant ce concept, notamment par Robardet dans une série d'articles (1990, 1995b, 1997, 2001). De par sa construction, une situation-problème est donc parfaitement cadrée : elle ne peut être confondue avec un problème ouvert. En effet, l'espace de liberté apparaît plus important dans l'activité de résolution de problème ouvert. De même, la place prépondérante occupée par l'activité expérimentale dans la situation-problème ne permet pas de confondre les deux types de dispositifs. Mais situation-problème et situation problématique ouverte partagent plusieurs caractéristiques comme le montre le tableau ci-dessous.

Caractéristiques	Situation-problème	Problème ouvert
Énoncé	<ul style="list-style-type: none">• Situation décrite en termes de physique et/ou situation expérimentale réelle• Question énoncée en termes de physique	<ul style="list-style-type: none">• Vocabulaire plutôt quotidien• Situation décrite en termes de phénomènes et d'objets• Question en termes d'évènement ou de phénomènes
Cadre de l'étude	<ul style="list-style-type: none">• Modélisation à construire	<ul style="list-style-type: none">• Pas de grandeurs physiques• Pas de données• Modélisation à construire
Résolution	<ul style="list-style-type: none">• Recours à l'expérience• Unicité de la solution	<ul style="list-style-type: none">• Papier-crayon• Plusieurs solutions possibles• Plusieurs résolutions possibles

³⁶ Ce paragraphe s'appuie sur des réflexions et des analyses menées de 2002 à 2005 dont les résultats ont été notamment publiés en 2005 (Boilevin, 2005a).

³⁷ Pour une présentation des TP top, voir le site : <http://www.tptop.fr>. Pour une analyse de ce type de tâche scolaire, voir par exemple Méheut, de Hosson et Thauvin-Roy (2006).

Objectifs d'apprentissage	<ul style="list-style-type: none"> • Franchissement d'un obstacle épistémologique ou didactique souvent fondé sur la présence d'une ou plusieurs conceptions • Processus de modélisation • Apprentissage d'une démarche scientifique 	<ul style="list-style-type: none"> • Apprentissage d'une démarche scientifique • Processus de modélisation • Apprentissage conceptuel
---------------------------	---	--

Tableau 2 : Caractéristiques des deux dispositifs didactiques

3.5.5.2 Cadres théoriques - Discussion

Les activités des élèves dans ces deux dispositifs didactiques peuvent être rapprochées de la recherche scientifique. Elles comportent en effet trois éléments : une tâche à effectuer ou un problème à résoudre, un travail en équipe, la communication des résultats des recherches aux autres équipes. Elles peuvent apparaître ainsi comme étant des transpositions scolaires de la pratique scientifique réelle.

Les dispositifs étudiés s'appuient sur certaines idées contemporaines concernant l'épistémologie des sciences. Ainsi, l'approche hypothético-déductive de la démarche scientifique (et non la vision inductiviste) est prise en compte dans la situation-problème comme dans la situation problématique ouverte. De même, l'idée de distinction entre la réalité objective et les théories scientifiques est présente dans les deux dispositifs. De plus, le caractère social de la construction des connaissances scientifiques (rôle de la communauté scientifique) ainsi que le caractère révisable des modèles apparaissent particulièrement présent dans la situation-problème.

Ces deux exemples de dispositifs didactiques partagent ainsi le même point de vue sur l'apprentissage des sciences (hypothèse constructiviste ou socioconstructiviste) et sur le fonctionnement actuel de la science (abandon de l'inductivisme systématique). Même si les activités mise en œuvre avec les élèves s'appuient sur des concepts didactiques différents dans les deux cas (la situation au sens de Brousseau (1998) pour le premier et la pratique sociale de référence pour le second) le concept clé est bien le problème de physique. Celui-ci apparaît comme le moteur de la progression scientifique (Popper, 1973).

Les recherches sur les stratégies orientées vers le changement conceptuel des apprenants sont développées en didactique des sciences du monde anglo-saxon au monde francophone, en passant par le monde hispanique. Les deux dispositifs étudiés ici sont à rattacher à ces recherches de stratégies orientées vers la construction du sens par les élèves. Gil-Pérez (1993) considère que la stratégie de changement conceptuel est sérieusement limitée si elle n'est pas associée au changement méthodologique et épistémologique. D'où la proposition de recourir à des situations problématiques ouvertes. Fabre (1997, 1999) attire l'attention sur certaines limites de ces dispositifs. Il note que le changement conceptuel demeure un processus complexe et donc difficile à gérer. Par exemple, la relation entre conceptions et obstacles est à considérer de près. Astolfi et Peterfalvi (1993) indiquent à ce propos que la relation biunivoque conception-obstacle n'est pas toujours vraie. Une conception peut renvoyer à plusieurs obstacles ou un obstacle peut renvoyer à plusieurs conceptions. D'autres facteurs influant sur le changement conceptuel sont étudiés par les didacticiens des sciences : le conflit cognitif, le conflit sociocognitif ou encore l'utilisation du débat scientifique en classe (Johsua & Dupin, 1989; Orange, 1998). Fabre (1999) note de plus que l'accent est trop mis sur la résolution des problèmes dans l'usage des situations-problèmes et pas assez sur la construction du problème. Or, apprendre, pour cet auteur, c'est problématiser. Il convient donc de distinguer la construction du problème de sa position ou de sa résolution. Mais que signifie précisément problématiser ? Fabre propose cinq critères de la problématisation en s'appuyant sur les théories de Dewey, Bachelard, Deleuze et Meyer. « Il s'agit : 1) d'un processus multidimensionnel impliquant position, construction et résolution de problèmes ; 2) ce processus opère une dialectique de références et d'interférences ; 3) d'une recherche de

l'inconnu à partir du connu, c'est-à-dire de l'édification d'un certain nombre de points d'appui à partir desquels questionner ; 4) d'une pensée contrôlée par des normes (intellectuelles, éthiques, techniques, pragmatiques, ...) qui s'avèrent tantôt prédéfinies, tantôt à construire. Ces normes servent à définir les conditions du problème et à anticiper les formes que doivent avoir les solutions ; 5) d'une schématisation fonctionnelle du réel qui renonce à tout embrasser et à reproduire la réalité mais vise plutôt à construire des outils pour penser et agir » (2009, p. 272)

A cet égard, il nous semble que le dispositif didactique « résolution de problèmes ouverts de physique » s'avère plus attentif à la construction du problème que le dispositif « situation-problème » et peut-être plus efficace en terme d'apprentissage. Cependant, des obstacles importants à la mise en œuvre de ces dispositifs sont à prendre en compte, notamment dans le cas de la démarche de résolution de problème ouvert. En effet, ces deux types de dispositif entraînent le plus souvent une rupture de contrat didactique. Le maître n'est plus le seul à détenir le savoir puisque les savoirs des élèves sont utilisés et pris en compte par l'ensemble du groupe classe : il y a partage du savoir. De plus, l'enseignant n'est pas celui qui décide seul. Une partie des décisions est laissée à la charge des élèves : il y a partage du pouvoir. Ce nouveau dispositif peut donc déstabiliser non seulement le professeur mais aussi les élèves lorsqu'il est utilisé en classe les premières fois. En effet, *« ce n'est plus l'élève qui s'adapte au contenu et à l'enseignant mais c'est l'enseignant qui, partant des connaissances que possède l'élève, va l'aider à prendre conscience du domaine de validité de celles-ci, et le conduire à en acquérir de nouvelles »* (Goffard, 1992).

Un autre obstacle peut venir de l'épistémologie personnelle des enseignants (Fabre, 2009). Étudiant les philosophies du problème développées par Dewey, Bachelard, Deleuze ou Meyer, cet auteur retire l'idée essentielle, selon lui, *« qu'il existe quelque chose comme un savoir questionner, complètement différent du savoir répondre »* (Fabre, 2009, p. 275). Or, Fabre avance que *« le noyau dur de l'épistémologie spontanée des enseignants ... concerne cette indifférence problématique qui a pour corollaire une conception propositionnelle du savoir, une survalorisation de l'erreur au détriment du sens, une conception de la vérité comme adéquation au réel et non comme production du vrai »* (2009, p. 275).

Des études comparatives complémentaires en contexte scolaire seraient nécessaires pour évaluer la portée réelle de ces deux outils didactiques. Les résultats de ces recherches permettraient par ailleurs d'envisager des pistes de formation des enseignants de sciences physiques afin d'introduire des activités de problématisation dans l'enseignement des sciences.

3.6 Discussion - Bilan

Nous venons de brosser un rapide portrait des recherches menées en didactique à propos des types de tâches à privilégier pour permettre l'enseignement et l'apprentissage des sciences physiques en classe. La question de la diversification des tâches scolaires dépend en fait de multiples facteurs : des enjeux de l'enseignement scientifique défini bien souvent par le curriculum prescrit (apprendre des résultats de la science, faire de la science ou apprendre sur les sciences), de l'épistémologie des sciences et des théories de l'apprentissage (Larcher & Peterfalvi, 2006) mais aussi du curriculum caché (Mathy, 1997). La transposition didactique élargie constitue, à cet égard, un cadre théorique intéressant, semble-t-il, pour étudier cette question.

Si l'on considère que la physique et la chimie sont non seulement définies par un ensemble d'énoncés mais aussi par un ensemble d'activités techniques et intellectuelles (notamment les activités de modélisation), s'approprier ces domaines c'est aussi s'approprier leurs modes de fonctionnement, de pensée et leurs langages. Or, ceux-ci présentent une forte spécificité. Le langage scientifique se distingue en particulier du langage naturel par des

systèmes de codage (logicomathématique notamment) et de représentation mais aussi par l'utilisation de techniques mathématiques sophistiquées. Les recherches en didactique des sciences montrent que l'enseignement habituel s'intéresse essentiellement à l'ensemble des énoncés. Si l'on veut aussi que les élèves s'approprient les activités intellectuelles, un travail sur le partage des significations de ce langage s'avère nécessaire dans les activités en classe. De même, un travail sur les modes de raisonnement propres aux sciences expérimentales doit être envisagé. Les activités de modélisation, qui permettent aux élèves de distinguer les phénomènes étudiés des concepts scientifiques, prennent tout leur sens. Les activités de résolution de problèmes ou les situations-problèmes, qui familiarisent les élèves avec les démarches de type scientifique, sont aussi à privilégier.

De ce point de vue, les résultats de nos recherches (Boilevin, 1993, 2000; Boilevin et al., 1996; Boilevin & Dumas-Carré, 2001a) montrent combien il est difficile pour les enseignants (débutants ou non) de mettre en œuvre des activités de modélisation et des activités de résolution de problème ouvert. Il semble que leur manque de connaissances épistémologiques et didactiques les empêche de prendre le recul théorique nécessaire pour maîtriser totalement ces dispositifs didactiques. Nous avons aussi vu que le problème de physique (problème de science) devait être distingué du problème de la vie courante (problème naturel) et du problème utilisé en classe de physique (problème didactique). De plus, les utilisations classiques mélangeant évaluation et apprentissages conduisent à proposer (par exemple) deux dispositifs où le problème de physique occupe une place particulière : la situation-problème fonctionnant comme une alternative au cours lui-même ; la situation problématique ouverte comme une alternative au problème classique. D'autres types de dispositifs reposant sur l'hypothèse socioconstructiviste (démarche d'investigation, construction de problème, activité de modélisation, ...) existent dans le domaine de l'enseignement des sciences et participent à la construction du sens par les élèves³⁸. Les pistes sur ce thème ne sont pas épuisées comme le note d'ailleurs Méheut (2006) pour ce qui concerne les recherches sur les démarches d'investigation scientifique afin de clarifier les objectifs, proposer des cheminements pour les élèves dans la construction de ces compétences et disposer de situations d'apprentissage appropriées. Ce thème sera développé au chapitre 8 car il correspond à nos orientations de recherche actuelles. Cependant, ces travaux en didactique des sciences sur la résolution de problème ou la problématisation trouvent principalement leur fondement dans la psychologie. Mais comme le souligne Fabre (2009, p. 275), « *ils ignorent la plus part du temps les travaux épistémologiques sur la problématisation* ». Cet auteur pense qu'il y aurait pourtant un intérêt à prendre en compte les points de vue de philosophes comme Dewey, Bachelard, Deleuze ou encore Meyer sur la philosophie du problème. Même si ces cadres théoriques peuvent nourrir certaines controverses, Fabre estime qu'ils fournissent « *un répertoire de modèles, d'outils conceptuels pour penser la problématisation à l'école et en formation* » (2009, p. 275).

L'accent mis sur le développement d'une culture scientifique pour tous conduit certains curricula ou certaines recherches à s'intéresser à la pratique du débat scientifique ou socio-scientifique en classe et au développement de l'argumentation. Pour certains chercheurs, la visée est purement culturelle alors que pour d'autres, ces pratiques permettent des apprentissages conceptuels et épistémologiques. Certains évoquent alors l'éducation scientifique alors que d'autres parlent d'enseignement scientifique. On voit par là que la question des orientations curriculaires est centrale dans ce débat. Mais les réponses ne sont pas simples à apporter comme le montrent les débats (dogme de l'égalité scientifique, socle commun, etc.) qui ont traversé l'histoire de l'enseignement des sciences en France au XXème siècle. Il semblerait cependant qu'un choix explicite au niveau des finalités visées

³⁸ Notons cependant que « la quête du sens » ne signifie pas forcément la même chose suivant les auteurs (Johsua & Dupin, 1993).

par un enseignement de sciences permettrait de trancher. Mais pour cela, encore faut-il avoir précisé ce que l'on entend par culture scientifique ou littéracie scientifique.

En ce qui nous concerne, il nous semble que l'apprentissage des sciences physiques devrait comporter trois dimensions principales : apprendre des sciences physiques, apprendre sur les sciences physiques et faire des sciences physiques. En effet, cet apprentissage consiste à s'approprier des savoirs (faits, concepts, lois, théories, etc.) mais aussi à étudier les manières dont la science fonctionne (méthodes, procédures conduisant aux connaissances scientifiques) sans oublier les aspects culturels (relation science et société ; histoire des sciences ; etc.). L'enseignement des sciences, qu'il vise une meilleure compréhension des sciences par le citoyen ou encore la formation des scientifiques (ingénieurs, chercheurs) devrait s'appuyer sur ces trois dimensions. Il reste cependant à envisager des organisations permettant une progressivité dans les apprentissages visés au niveau de l'école obligatoire comme dans les études scientifiques spécialisées du second degré.

Tous les styles d'activités en classe envisagés amènent à repenser la place du professeur et des élèves dans les situations de classe mais en tenant compte des difficultés rencontrées par les partenaires de la relation didactique pour modifier les rôles respectifs. Mortimer et Scott (2003) interrogent les types de communication mis en place et ils proposent une typologie de la communication scolaire autour de deux dimensions (autoritaire/dialogique et interactif/non interactif) qui permet d'analyser les interactions en classe de sciences. De leur côté, Weil-Barais et Dumas-Carré (1998) cherchent à comprendre comment les interactions didactiques contribuent aux processus de construction des connaissances. Ce thème de recherche sera développé dans le chapitre suivant.

Mais la question des contenus d'enseignement est à étudier dans un cadre beaucoup plus général. En effet, depuis de nombreuses années, les curricula font l'objet d'interrogation de la part des décideurs politiques et de très nombreuses réformes ont vu le jour. Les tendances internationales actuelles sont centrées sur les notions de standard de formation, de compétence de base et de socle de connaissances (Meunier, 2005), amenant des réflexions sur la refondation des disciplines scolaires, voire des interrogations sur l'existence même de certaines d'entre elles (Gauthier, 2006).

L'approche par compétences dans le milieu de l'éducation est très discutée pour ces implications dans les apprentissages visés mais aussi dans la formation des maîtres (Audigier & Tutiaux-Guillon, 2008; Crahay, 2006; Perrenoud, 1998; Rey, Caffieaux, Defrance & Marcoux, 2005; Rey, 2008; Schneider-Gilot, 2006). La notion de socle commun de connaissances et de compétences en œuvre en France (loi Fillon, 2005) pose, quant à elle, la question de la culture à enseigner (Paget, 2006) et celle de la définition des programmes scolaires (Raulin, 2006) ou des curricula (Rey, 2010).

Cette approche a bien entendu des implications sur l'enseignement des sciences comme le montrent certaines études internationales (par exemple Eurydice, 2006). L'approche intégrée des sciences et de la technologie est envisagée ou mise en place dans plusieurs pays au niveau notamment de l'enseignement secondaire inférieur, ce qui n'est pas sans interroger la recherche sur les finalités de ce nouvel enseignement et sur la formation des maîtres (Hasni, Lenoir & Lebeaume, 2006; Hasni & Lebeaume, 2008). La situation française est analysée par Dupin (2007) et resituée dans le contexte international. Le rôle de l'Académie des sciences dans l'enseignement des sciences dans la scolarité obligatoire est souligné (opération « Main à la pâte » ; expérimentation d'un enseignement intégré de science et de technologie dans quelques collèges). Comme l'indique Dupin, il faut s'attendre à ce que l'introduction du socle commun de connaissances et de compétences s'accompagne d'un décalage entre curriculum prescrit et curriculum réel. Une série de nouvelles questions est ainsi posée à la didactique des sciences face à ces importantes modifications et un large travail d'ingénierie didactique devra être développé pour aider les enseignants dans ces vastes changements. Nous aurons l'occasion de revenir sur ces questions dans la deuxième partie de ce manuscrit.

4 Interactions didactiques

Comme nous l'avons déjà écrit précédemment, le groupe « médiation », sous la direction de Annick Weil-Barais et Andrée Dumas-Carré (1994, 1995), a développé un programme de recherche sur le thème de la tutelle et de la médiation dans l'enseignement scientifique et la formation. Nous évoquons ci-dessous le cadre théorique de cette recherche que nous avons complété avec nos propres réflexions dans le cadre de notre travail de thèse. Puis nous présentons les résultats de plusieurs recherches menées sur les interactions didactiques en classe de sciences physiques et de technologie pour l'une d'entre-elles.

4.1 Cadres théoriques

4.1.1 Modélisations de la relation didactique

Les études en didactique des sciences s'appuient fréquemment sur une schématisation du système didactique en forme de triangle. Dans ce schéma, qualifié souvent de triangle didactique, nous retrouvons toujours les trois pôles élève, professeur et savoir mais parfois à des positions différentes suivant les auteurs ; le triangle ayant la pointe en bas ou en haut (faut-il y voir un ordre de priorité ?). Cette schématisation de la problématique didactique est discutée. En particulier, Cornu et Vergnioux (1992) critiquent la place faite au pôle savoir. Ce n'est pas un « pôle parce qu'il n'est pas un troisième rôle » (p. 120). Le savoir est une construction intellectuelle ; il « est par essence partageable par ceux qui s'y exercent, et de ce fait il est la visée, la tentative solidaire et l'acte commun de ceux qui enseignent et de ceux qui apprennent » (p. 121). Pour ces auteurs, le troisième pôle devrait être occupé par l'institution, « qui empêche l'enseignant et l'apprenant de tomber dans une relation duelle et aliénante pour les deux » (p. 121). Cette idée d'institution au sens « organisationnel, social, politique » est aussi évoquée par Sachot (1996).

Nous retenons pour notre part que le triangle didactique apparaît trop statique et que l'aspect dynamique devrait transparaître dans la caractérisation des pôles mais surtout dans celle des liens entre les pôles. Nous retrouvons cette idée dans le schéma proposé par Johsua et Dupin (1993) qui mettent l'accent sur le concept de contrat didactique, ou encore chez Toussaint (1996) avec quelques variantes. En fait, toute recherche didactique s'intéresse aux trois pôles et aux trois côtés mais avec des priorités différentes suivant les chercheurs. Le pôle savoir est toujours présent mais plus ou moins explicitement. Ainsi, Johsua et Dupin (figure 3) mettent le contrat didactique au centre, ce qui traduit le fait, que pour eux, les contenus commandent le contrat passé entre professeur et élèves. Par contre, pour Toussaint, le contrat didactique (figure 4) est placé sur l'axe enseignant-élèves, ce que l'on peut interpréter comme une attention particulière aux règles du jeu plus qu'aux contenus.

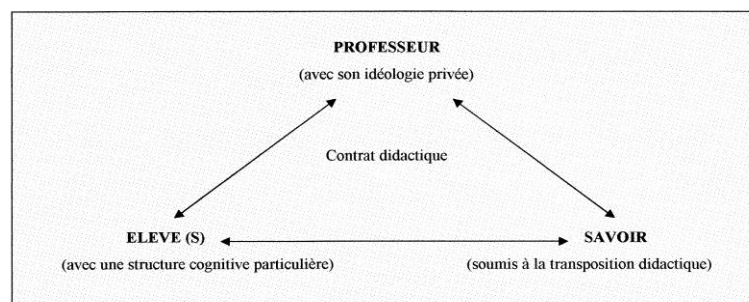


Figure 3 : La structure didactique (Johsua & Dupin, 1993)

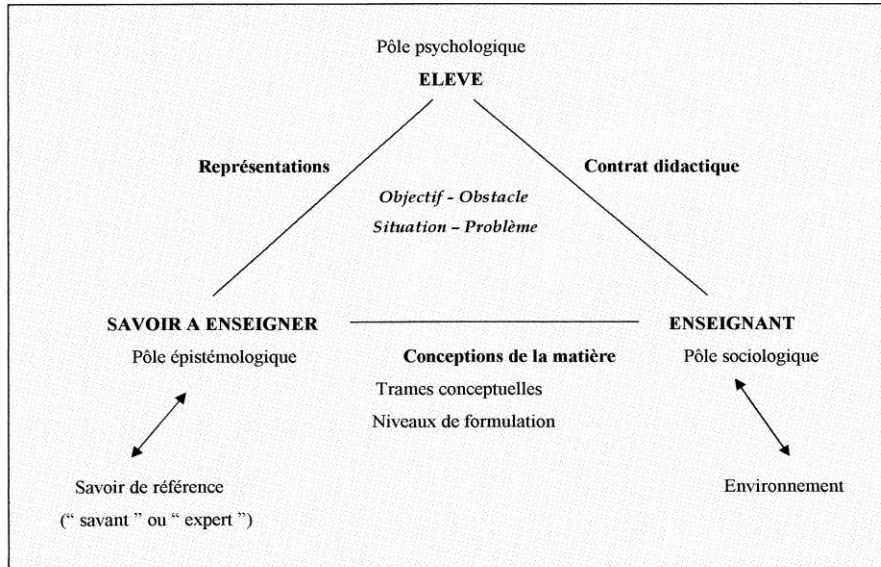


Figure 4 : Schéma triangulaire caractérisant une séquence d'enseignement (Toussaint, 1996)

Les recherches, après avoir étudié les trois pôles du triangle, se sont intéressées aux relations entre ces derniers. L'accent a ainsi été mis sur l'axe professeur-élève dans les recherches sur les descriptions des pratiques éducatives. Mais s'intéresser à ces dernières, c'est étudier les interactions élève-professeur à propos des savoirs. C'est alors le centre du triangle qui est privilégié comme dans le point de vue de Joshua et Dupin (figure 3) ou encore dans celui de Dumas-Carré et Weil-Barais (figure 5). Ceux-ci mettent l'accent sur le rôle du contrat didactique alors que celles-là cherchent à comprendre comment se construisent les connaissances dans les interactions en classe.

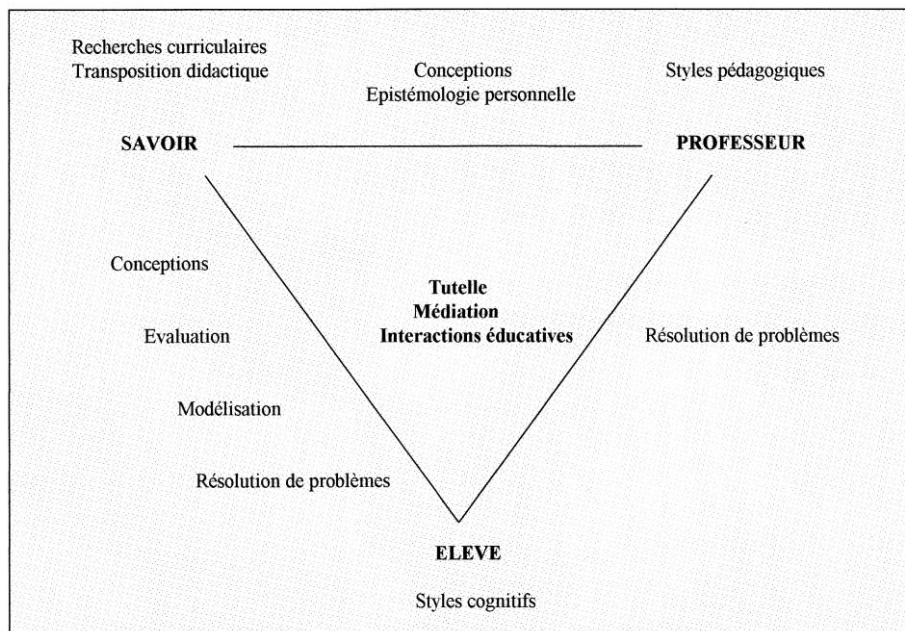


Figure 5 : Description des pratiques éducatives (Dumas-Carré & Weil-Barais, 1998)

Pour Lemeignan & Weil-Barais (1993), la gestion pédagogique de la construction des connaissances dépend des options adoptées par les enseignants à propos des processus d'apprentissage et des connaissances elles-mêmes. S'intéresser aux interactions

didactiques nécessite donc de tirer au clair les conceptions sur ces processus. Différents cadres théoriques sont envisageables concernant les apprentissages scolaires. Sociologie, psychologie, psychanalyse, philosophie, etc., apportent des éclairages différents. Si on s'appuie sur l'idée que l'apprentissage dépend essentiellement de la nature du savoir mis en jeu, un point de vue didactique s'impose puisque l'enjeu des échanges en classe (entre professeur et élève (s) ou entre élèves) est la construction de connaissances dans un domaine particulier (les sciences physiques en ce qui nous concerne). Les recherches sur les interactions éducatives (Amigues, 1994; Aumont & Mesnier, 1992; François, 1990; Perret-Clermont, Schubauer-Leoni & Trognon, 1992, entre autres) résultent d'évolutions théoriques importantes, amenant un changement de point de vue sur les connaissances. En effet, « *la connaissance n'est plus considérée comme une relation entre des individus et des objets mais comme une relation entre des personnes et des propositions tenues pour vraies eu égard à des conventions partagées* » (Weil-Barais & Dumas-Carré, 1998, p. 4).

Le cadre théorique du groupe de recherche « Médiation » prend appui sur des emprunts au constructivisme, à l'interactionnisme social et à un certain relativisme épistémologique pour développer :

- Une conception des interactions sociales qui amène les élèves à construire leurs connaissances au cours d'échanges avec quelqu'un de plus expert et avec leurs pairs, le sujet discuté étant une situation physique, une conceptualisation, une modélisation ou une explication ;
- Une conception de la communication selon laquelle les significations sont construites au cours de l'interaction ;
- Une conception selon laquelle les connaissances scientifiques sont validées par la communauté scientifique à un moment donné de son histoire.

La prise en compte de ces trois points de vue amène à repenser la place de l'élève et de l'enseignant dans les interactions didactiques.

4.1.2 Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique

Ce cadre théorique permet de brosser le portrait des interactions didactiques. En particulier, l'abandon de la vision classique de la communication (émetteur – récepteur) entraîne une autre façon d'envisager l'enseignement. La responsabilité de l'enseignant ne s'arrête pas à la fabrication d'un « bon » message. Il doit « suivre » celui-ci, prendre de l'information sur ce que les élèves ont compris. Il doit s'impliquer dans des interactions qui permettront aux élèves de construire un savoir et s'assurer que ce qui est construit a bien le sens recherché (construction de co-références). Le cours magistral où les élèves prennent des notes à partir de l'exposé du professeur n'est plus l'unique référence. L'enseignant doit laisser les élèves s'exprimer, leur laisser du temps pour cela. La communication scolaire prend la forme de conversations, d'échanges entre professeur et élèves, où les processus de négociation du sens, engagés entre les individus interagissant, sont essentiels.

4.1.2.1 Comment laisser sa place à l'élève ?

L'élève est considéré comme un individu à part entière avec des connaissances déjà acquises, des systèmes de valeurs, etc. Il peut les exprimer, les utiliser, les évaluer, si les activités mises en œuvre en classe lui laissent de la place et du temps. Les situations d'enseignement doivent amener l'élève à positionner ses propres connaissances par rapport aux savoirs constitués et à faciliter ainsi l'acquisition de ceux-ci. Dans le domaine de l'enseignement des sciences, les activités de résolution de problèmes sont valorisées de façon à situer les activités d'apprentissage dans la zone proximale de développement

(Vygotski) pour permettre aux élèves d'être actifs³⁹. Les connaissances se construisent au cours des interactions. Ceci conduit à privilégier les interactions interindividuelles et donc à favoriser le travail en groupes où la médiation tient une place prépondérante puisqu'elle permet le partage de significations, de normes et de valeurs.

4.1.2.2 La place du professeur

Les rôles possibles du professeur sont multiples. L'enseignant peut guider, aider, canaliser l'évolution des élèves. Il peut aussi prendre en compte ce que les élèves savent et savent faire, proposer des modèles nouveaux, les discuter avec eux, les faire comparer à leurs modèles initiaux, et négocier des significations partagées. Nous nous intéressons plus particulièrement à deux types d'interactions didactiques remplissant les conditions requises pour que les échanges en classe soient constructifs : les interactions de tutelle et les interactions de médiation

4.1.2.3 La tutelle

La tutelle est définie par Bruner (1983) comme « *une entreprise de collaboration à travers laquelle on aide l'enfant à se développer* » (p.9). Winnykamen (1998) précise que l'on « *considérera comme interactions de tutelle ou guidage pour la construction ou l'acquisition d'un savoir faire ou d'un savoir, toute situation interpersonnelle (souvent dyadique) où se retrouvent les trois conditions principales suivantes : dissymétrie plus ou moins spécifique ou générale face à la connaissance à acquérir, enrôlement effectif des partenaires, et différence mais complémentarité des buts de l'interaction* » (p.33). Cet auteur précise que la dissymétrie peut être momentanée et ponctuelle au sein d'un groupe d'élèves. Elle peut être reconnue institutionnellement dans le cas de l'interaction élève-professeur. Elle est « *le plus souvent établie sur la base de différences importantes quant à la maîtrise des contenus* » (p. 32). Toutes les situations scolaires ne se prêtent pas à ce type d'interactions. L'implication des partenaires est une condition nécessaire mais pas suffisante. Ainsi, « *un expert peut ne pas être un tuteur ; un novice peut ne pas être un tuteur* » (Winnykamen, 1998, p. 32). Les buts de l'interaction sont différents pour les partenaires : pour l'élève « novice », c'est faire ; pour le tuteur « expert », c'est faire faire.

Dans cette conception des interactions didactiques, la fonction d'étayage ou de tutorat est essentielle. Pour Bruner (1983) l'interaction de tutelle, « *la plupart du temps, comprend une sorte de processus d'étayage qui rend l'enfant ou le novice capable de résoudre un problème, de mener à bien une tâche ou d'atteindre un but qui auraient été, sans cette assistance, au-delà de ses possibilités* »⁴⁰ (p. 263). L'étayage est défini autour des points suivants : l'enrôlement (pour engager l'intérêt et l'adhésion de l'enfant "chercheur" envers la tâche à réaliser) ; la réduction des degrés de liberté (simplifier la tâche en la décomposant en sous-butts pour atteindre la solution) ; le maintien de l'orientation (maintenir l'intérêt et la motivation de l'enfant dans un champ de recherche vers un objectif défini) ; la signalisation des caractéristiques déterminantes (informer sur les caractéristiques de la tâche qui sont déterminantes pour son exécution) ; le contrôle de la frustration (faire en sorte que l'enfant ne soit pas éprouvé par l'exécution de la tâche) ; la démonstration (initiation sous forme stylisée – modèle - par le tuteur, d'un essai de solution, permettant à l'enfant de l'imiter et de terminer sa réalisation).

³⁹ Les problèmes doivent cependant être adaptés aux élèves car il existe une différence importante entre les questions posées dans le domaine scientifique et celles rencontrées dans la vie courante. Nous retrouvons la question de la dévolution du problème, concept introduit en didactique des mathématiques, processus par lequel les questions scientifiques deviennent reconnaissables par l'élève.

⁴⁰ Le concept d'étayage apparaît ainsi lié au concept de zone proximale de développement proposé par Vygotski.

La tutelle apparaît ainsi comme un guidage vers une connaissance nouvelle. Dans les situations d'interaction en classe, c'est l'exécution des tâches qui détermine les interventions du professeur. Le guidage est centré sur l'aide à la production de réponses ou sur l'aide à l'appropriation de procédés de traitement ou de contrôle de l'activité cognitive (Weil-Barais, 1998). L'action de tutelle est efficace s'il y a adéquation entre les conduites des élèves et les intentions de l'action du tuteur. Le concept de tutelle conduit à centrer la description de l'interaction sur le professeur.

4.1.2.4 La médiation

Le concept de médiation recouvre des sens très différents suivant le champ d'utilisation. Ainsi, dans le domaine de la psychologie cognitive, on utilise les concepts de médiation sociale et de médiation sémiotique. La conception juridique, à caractère instrumental, où l'idée de conciliation et d'arbitrage domine, s'éloigne ainsi de la conception dans le champ de l'intervention didactique. Dans ce dernier domaine, on rencontre des définitions différentes suivant les auteurs et des expressions différentes comme « médiation scolaire », « médiation cognitive » ou « médiation didactique ».

Pour Lenoir (1996), « *traiter de médiation, c'est poser le postulat que le savoir est une production humaine socialement déterminée qui requiert un processus cognitif d'objectivation s'établissant grâce à un système médiateur entre un sujet et un objet de connaissance qu'il produit et qui le produit en retour* » (p. 228). Nous retrouvons trois composantes du système didactique :

- le sujet « apprenant » « *producteur de la connaissance du réel ... transformé en retour du processus cognitif qu'il initie* » ;
- l'objet de connaissance qui est « *construit, circonscrit et défini comme objet d'étude désiré* » ;
- « *un système objectif de régulation (la médiation)* » (p. 229) permettant l'établissement d'un rapport cognitif entre le sujet et l'objet.

De plus, Lenoir pose le problème du temps, de l'espace et de la société : « *tant les contenus scolaires que les produits cognitifs résultants de processus d'apprentissage sont des construits socioculturels produits dans le temps et dans l'espace* ». S'appuyant sur des considérations philosophiques et psychologiques, Lenoir dégage deux sens au concept de médiation au sein d'un processus d'objectivation : la médiation cognitive et la médiation didactique. La première, interne au processus et qualifiée « d'intrinsèque », désigne l'intermédiaire entre le sujet et l'objet pendant l'apprentissage. La deuxième, « d'ordre extrinsèque », « *peut être appréhendée en tant que système de régulation au sens large, en ce qu'il intervient à la fois comme modalité de régulation dans la détermination d'une structure extérieure, autre que lui, et comme action procurant du sens à l'objet, le rendant ainsi désirable au sujet* » (p. 240). Cette dernière médiation porte en fait « *sur la médiation intrinsèque au processus d'objectivation* » (p. 240). Elle constitue plus qu'une « *simple intervention externe ... elle est (doit être) porteuse du désir de savoir du maître* » (p. 240). Ces deux concepts, « *intimement liés au sein de la relation didactique* », permettent de lire les situations scolaires. La médiation cognitive appartient au processus d'apprentissage et la médiation didactique désigne l'action d'un intervenant extérieur venant assurer des conditions favorables au processus. La médiation didactique est ainsi pensée comme un cas particulier de médiation sociale dans le champ de la formation.

Nous regrettons par contre que la dimension sociale des apprentissages n'apparaisse pas distinctement dans les propos de Lenoir. En effet, la relation de l'élève à la connaissance est une relation publique comme le souligne Sachot (1996) : « *les élèves construisent collectivement un savoir institué, et par conséquent normalisé ... la connaissance n'est pas seulement une affaire privée, de l'ordre du cognitif, mais une affaire publique, de l'ordre du social* ». Pour cet auteur, « *le modèle fondamental qui structure les situations éducatives et dont l'histoire nous montre l'élaboration et les configurations successives ... peut être défini*

comme une médiation (au sens extrinsèque) en vue d'une médiation (au sens intrinsèque) » (p. 217).

Le modèle de Sachot se distingue du triangle didactique puisqu'il est constitué de quatre composantes :

- la place de l'institutionnel dans les situations éducatives « avec tout ce que cela implique de normalité et de normalisation » : la relation didactique n'est pas réductible à une relation cognitive. « En particulier, ce n'est pas une affaire privée, mais publique, qui intéresse toute la cité » (p. 217) ;
- la finalité du dispositif : la médiation intrinsèque ne doit pas être confondue avec le pôle savoir du triangle didactique. « Cette finalité est de permettre à l'homme (auditeur, élève ou apprenant) d'être un "être au monde", c'est-à-dire d'être outillé, intellectuellement et humainement, pour être un homme au sens plein du terme, à la fois comme personne autonome et comme personne intégrée à la société ». Cette finalité précise ainsi le contenu de la médiation intrinsèque : « celle qui reste et demeure lorsque la médiation externe et pédagogique cesse » (p. 218) ;
- le bénéficiaire du dispositif : l'élève est-il un bénéficiaire passif ou actif ? « La pédagogie dite "centrée sur l'élève" s'avère encore bien souvent centrée sur le savoir » (p. 218) ;
- le dispositif dans son ensemble : il s'agit de la médiation extrinsèque. En particulier, le maître est la référence mais celle-ci est « l'expression actuelle et non définitive du vrai » (p. 219).

Le point de vue de Lenoir situant la médiation cognitive et la médiation didactique dans l'ensemble des relations éducatives ne développe pas assez, à notre sens, la place de l'enseignant en tant que médiateur. Nous retrouvons par contre ce souci chez Weil-Barais et Dumas-Carré (1998) qui étudient les interactions éducatives dans le domaine des sciences. S'inspirant de la conception de la médiation dans le champ de l'intervention sociale, elles définissent la médiation scolaire comme « un processus visant à prévenir et/ou à résoudre un conflit ou une difficulté cognitive ... une stratégie de prévention et de résolution des incompatibilités cognitives » (p. 6). Dans le cadre scolaire, « le professeur est médiateur au sens où il est un intermédiaire, d'une part, entre "le monde" des connaissances et des pratiques scientifiques et, d'autre part, les élèves. Sa fonction est de négocier avec les élèves des changements cognitifs » (p. 6). Ces changements ont trait aux significations, aux règles, aux normes et aux conventions. Ces négociations portent aussi « sur le partage de présupposés et des valeurs sur lesquels reposent les activités scientifiques » (p. 6). Pour ces auteurs, la notion de médiation considère l'intervention verbale comme un acte et non comme une simple expression d'un savoir à transmettre et/ou d'une représentation mentale indépendante de l'énoncé et du contexte de l'énonciation (Weil-Barais & Dumas-Carré, 1995). « Le concept de signification partagée émergeant dans les échanges prend le pas sur le concept d'information faisant l'objet de traitements » (p. 3). La médiation est ainsi considérée comme un processus où se construit une co-référence, condition d'un langage partagé, commun à l'ensemble des participants (Weil-Barais & Dumas-Carré, 1995). La médiation se caractérise alors par une reconnaissance des différences entre les savoirs des élèves et les savoirs constitués dont l'enseignant est le garant, ainsi que par une reconnaissance de l'aspect potentiellement conflictuel de la construction de ces savoirs.

Finalement, sous des expressions différentes, nous retrouvons deux idées principales. Il semble en effet que « la médiation didactique » de Lenoir et la « médiation extrinsèque » de Sachot correspondent à la « médiation scolaire » de Weil-Barais et Dumas-Carré, ce qui permet de définir un rôle possible pour l'enseignant : être un médiateur. Enfin « la médiation cognitive » de Lenoir et « la médiation intrinsèque » de Sachot semblent désigner les actes d'apprentissage visant les savoirs constitués servant de « médiateurs intellectuels nécessaires et multiples de l'appréhension du monde » (Sachot, 1996).

4.1.2.5 Bilan

Pour décrire les interactions didactiques, nous disposons de deux concepts différents (tutelle et médiation) mais complémentaires. La distinction des modes interactifs de type tutelle et médiation caractérise davantage des types de séquences didactiques que des styles pédagogiques. L'appropriation des connaissances par les élèves nécessite en effet ces deux modes d'interactivité et il semble utile que les professeurs parviennent à les maîtriser et à les instaurer, selon les intentions didactiques et les besoins des élèves. Weil-Barais et Dumas-Carré avancent en effet l'hypothèse selon laquelle « *le rapport au savoir que ces différentes formes d'interactions instaurent n'est pas le même. [...] dans le cadre de la tutelle, c'est l'exécution des tâches qui détermine les interventions du professeur, alors que dans un cadre de médiation, c'est le rapport au savoir qui est travaillé. On peut ainsi attendre d'une spécification des modalités interactives qu'elle permette de préciser l'espace de construction du savoir offert à l'élève* » (Weil-Barais & Dumas-Carré, 1998, p. 8).

4.1.3 Modélisation des interactions didactiques en classe de sciences physiques

Les conséquences des choix du cadre théorique sont multiples. Il amène, en particulier, un changement de point de vue sur les interactions didactiques, entraînant des rôles nouveaux pour l'élève et pour le professeur. Nous proposons de représenter les interactions didactiques en classe de sciences physiques par le schéma ci-dessous :

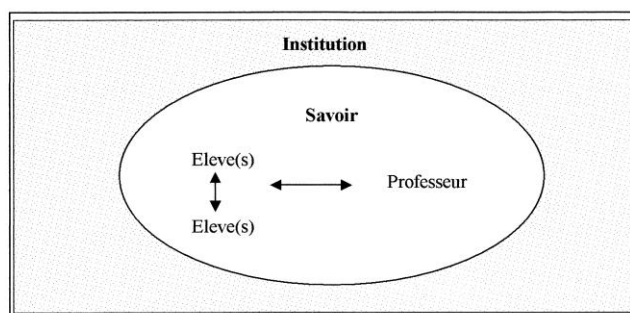


Figure 6 : Description des interactions didactiques en classe (Boilevin, 2000)

Les élèves sont considérés comme des individus à part entière pouvant exprimer leurs idées. Le professeur est le garant des savoirs constitués. Les interactions didactiques ont lieu entre élèves, ou entre des élèves et le professeur, à propos de savoir(s) au sens d'intermédiaire intellectuel entre le monde et l'homme. Elles doivent amener à partager les savoirs au sein de la « communauté classe ». Ces relations aux savoirs ne sont pas seulement privées (au sens cognitif) mais aussi publiques (au sens social) et de plus, elles dépendent de l'institution au sens organisationnel, social, politique, etc.

4.2 Présentation de nos principaux travaux de recherche

Nous présentons une série d'études menées à partir du cadre théorique des interactions didactiques en classe de sciences évoqué précédemment. L'une met l'accent sur les pratiques interactives d'un enseignant de sciences physiques chevronné (Boilevin & Dumas-Carré, 2004; Boilevin, 2005c) et analyse particulièrement les fonctions de la verbalisation. Une autre étude aborde la place de l'ordinateur portable dans les interactions didactiques au cours de séances d'enseignement de physique et de technologie au collège (Boilevin & Brandt-Pomares, 2007; Brandt-Pomares & Boilevin, 2007; Brandt-Pomares & Boilevin, 2008; Brandt-Pomares & Boilevin, 2009). Enfin, une dernière étude, menée dans le cadre d'une collaboration avec une équipe grecque, s'intéresse à la place des interactions didactiques

dans l'éducation scientifique préscolaire (Ravanis, Charalampopoulou, Boilevin & Bagakis, 2005).

4.2.1 Fonctions de la verbalisation dans l'apprentissage de règles de schématisation en électricité au collège

La diffusion des différents travaux de didactique des sciences à travers certaines orientations institutionnelles (les programmes d'enseignement et leurs commentaires par exemple), ou encore la mise en place de dispositifs de formation des enseignants (formation initiale ou continue), amène à interroger les effets sur les pratiques actuelles dans les classes et notamment sur les interactions didactiques professeur-élève(s) ou élève(s)-élève(s) à propos de savoir(s) au sens d'intermédiaire intellectuel entre le monde et l'homme. Il apparaît donc tout à fait intéressant d'observer et d'analyser les pratiques enseignantes en situation ordinaire. L'objet de cette étude est d'interroger l'articulation entre le verbal et les différents systèmes sémiotiques utilisés (schémas, écrits, ...) dans une séance de classe de sciences physiques, menée par un enseignant expérimenté qui nous a invité à assister à une « séance originale et didactiquement intéressante » (selon ses propres dires). Nous décrivons la séance sous un angle didactique et nous essayons de cerner les relations entre les activités langagières (orales et écrites) et les apprentissages des élèves.

4.2.1.1 Éléments de problématique

Parmi les raisons avancées concernant l'intérêt croissant pour les pratiques langagières dans les recherches en didactique des sciences (Bernié, 2002; Fillon & Vérin, 2001; Jacobi & Peterfalvi, 2004) figure le constat d'une évolution du discours pédagogique insistant sur la nécessaire activité des élèves pour rendre efficace les apprentissages. Dans le cas de l'acquisition de connaissances scientifiques, le langage naturel doit être distingué du langage scientifique pour permettre la communication. Mais ce dernier obéit à des règles de production et d'utilisation qui sont définies par une communauté donnée à un moment donné de l'histoire. Nous passons ainsi d'un aspect utilisation individuelle du langage à un aspect communication sociale. Nous retrouvons alors des préoccupations développées dans le point de vue de Vygotski (1985) selon lequel le langage joue simultanément un double rôle dans l'interaction : un rôle social de communication et d'échange de signes et un rôle cognitif d'expression et de construction de la pensée. Ceci conduit à accorder une importance primordiale aux interactions langagières entre enseignant et élèves ou entre élèves dans l'étude des processus d'acquisition de connaissances (Gilly, Roux & Trognon, 1999; Roux, 1997). Mais comme le souligne Clément (2002) ces approches langagières doivent rester au service d'une problématique didactique. En particulier, pour comprendre les relations entre apprentissages disciplinaires et activités langagières, l'importance des repères épistémologiques est à prendre en compte (Orange, 2003).

Quelle place est réservée dans les pratiques éducatives à l'apprentissage des systèmes de notations et à leur utilisation ? Cette question apparaît d'importance dans l'apprentissage des sciences physiques qui consiste, entre autre, à passer d'une description des objets et des phénomènes dans un langage courant à une description en termes de concepts et de modèles de la physique et de la chimie. Pour passer du registre des phénomènes au registre du modèle physique, le recours à des systèmes symboliques ou à des langages intermédiaires s'avère souvent nécessaire. Ce n'est que lorsque les concepts sont construits par les élèves que les termes scientifiques utilisés prennent véritablement du sens pour constituer un langage partagé. Pour être efficace, il faut bien sûr que la représentation symbolique intermédiaire n'ajoute pas de difficultés chez les élèves sensés l'utiliser. Dans le domaine de l'électricité, la schématisation des circuits électriques répond à des règles d'écriture précises et constitue un système symbolique particulier. De nombreux travaux se sont intéressés à cette question (Caillot, 1988, 1993; Johsua, 1982; Johsua & Dupin, 1984; Amigues & Caillot, 1990). Johsua et Dupin (1984) considèrent le schéma électrique comme

un intermédiaire conceptuel possédant des relations constitutives avec les concepts de l'électrocinétique. Caillot (1988) précise que lire un schéma électrique et le décoder requiert de la part d'un étudiant une série de capacités perceptives. Celles-ci, même si elles sont relativement primitives, sont étroitement reliées à la compréhension de concepts de base en électricité comme ceux de courant et de tension. Pour Caillot, cette compréhension est une condition pour aborder avec succès des problèmes en électricité. L'enjeu essentiel de l'apprentissage de la schématisation est ainsi identifié. Mais il semble que peu de recherches aient abordé cette question dans des conditions ordinaires de travail scolaire. Dans l'enseignement français, l'apprentissage de ces règles commence au collège, en classe de 5ème.

4.2.1.2 Contexte de l'étude

Le contexte de l'étude présentée ici consiste en une séance de classe menée par un enseignant expérimenté. Les élèves ont étudié précédemment les règles de représentation de quelques dipôles électriques. Le but de la séance est l'apprentissage de la représentation symbolique d'un circuit électrique simple. Cette séance de 55 minutes a lieu dans une classe de cinquième de 24 élèves. Elle se décompose en plusieurs parties : correction d'exercices, activité expérimentale, activités papier-crayon. La partie consacrée aux apprentissages nouveaux (activités papier-crayon + verbalisation des règles de schématisation) dure en fait trente cinq minutes environ.

Un court entretien post-séance a eu lieu avec l'enseignant. De cet entretien, il ressort plusieurs objectifs de la séance. Pour les élèves, certains savoirs sont visés (représentation symbolique d'un circuit électrique simple, accepter différents schémas pour un même circuit mais aussi des savoir-être (respecter et écouter les autres ; corriger ses propres erreurs ; respecter et ranger le matériel). Pour le professeur, il s'agit de faire émerger les représentations initiales des élèves et de les faire évoluer, de laisser les élèves s'exprimer, de guider la parole et de reprendre les formulations incorrectes. Enfin, concernant le choix des six élèves passant au tableau dans la phase de co-construction des règles de schématisation, le professeur déclare qu'ils sont choisis à partir des types d'erreurs repérées sur leur cahier. Il précise qu'en général, cinq élèves passent au tableau avec un type d'erreur particulier, le sixième ayant la bonne réponse.

4.2.1.3 Méthodologie

D'un point de vue méthodologique, nous procédons à la construction de la chronique thématique à partir de la transcription écrite de l'enregistrement audio de la séance (cf. 3.5.4). Pour cette séance, nous obtenons 37 épisodes, regroupés autour de 9 thèmes. Les épisodes peuvent être très courts (quelques tours de parole seulement) ; d'autres regroupent une cinquantaine d'interventions verbales. A l'aide de la chronique thématique, nous repérons alors les différentes modalités langagières et nous analysons les interventions verbales des différents locuteurs.

4.2.1.4 Analyse des modalités langagières

Nous avons repéré les modalités langagières dans chaque épisode et distingué parmi les participants aux échanges ceux qui jouent le rôle de locuteur ou de scripteur (professeur ou élève). Les différents types de support écrit sont aussi mis en évidence, essentiellement le cahier de l'élève et le tableau. Le premier outil est d'un usage privé alors que le second est d'un usage public. On s'aperçoit d'ailleurs que l'enseignant ne va pratiquement jamais écrire au tableau pendant la séance. Sur le tableau peuvent figurer des écrits valides d'un point de vue scientifique ou non encore validés par la classe. Notons enfin que l'enseignant n'exerce que très peu de contrôles sur les écrits privés dans les phases d'institutionnalisation.

4.2.1.5 Analyse des interventions verbales

Nous avons recours à un système de codage des interventions verbales (Boilevin & Dumas-Carré, 2001a) qui dépend de l'axe d'analyse choisi. Le but de la séance étant d'amener la verbalisation des règles de schématisation des circuits électriques par les élèves, l'enjeu apparaît essentiellement épistémologique. Nous codons les différentes interventions suivant le registre de langage utilisé (tableau 3). Nous repérons aussi les articulations entre les différents registres par un double codage.

Codage	Registre de langage centré sur	Type de registre épistémologique
0		Non pertinent dans cette étude
1	Objets, phénomènes	Empirique
1'	Photographie	Empirique
2	Représentation symbolique	Langage intermédiaire
3	Signification	Modèle

Tableau 3 : Analyse des interactions verbales

Le décompte global sur l'ensemble des épisodes met en évidence que la majorité des interventions relève du codage 2 et une sous-utilisation des liens de type 2-1 ou 2-3. En fait, on reste au niveau du langage intermédiaire mais sans chercher à lui donner du sens par rapport au registre empirique ou au modèle à construire. De plus, l'analyse des épisodes du thème « Débat en groupe classe à partir de quelques productions élèves » montre que les élèves et l'enseignant utilisent les règles connues de la schématisation électrique (notamment la schématisation des dipôles) mais elles sont très peu verbalisées. En fait, la plupart du temps, lorsqu'un élève intervient, c'est pour pointer une ou des erreurs présentes sur un ou plusieurs des schémas mais il n'y a pas de réelle argumentation, en faisant explicitement référence à une des règles connues. Il semble que le travail d'appropriation soit essentiellement tourné vers l'acquisition de la syntaxe du nouveau langage, mais en oubliant les aspects sémantique et pragmatique. D'ailleurs, même lorsqu'ils sont sollicités par le professeur, les élèves ont bien du mal à argumenter leur choix.

La pratique de l'enseignant apparaît plus ou moins explicitement dans les thèmes « Débat en groupe classe ... » et dans les deux « Activités papier-crayon ». Le choix des élèves passant au tableau n'est jamais le fait du hasard. Pour l'activité de représentation du circuit électrique, l'enseignant met en application des préceptes qu'il énonce a posteriori dans l'entretien : il choisit des élèves qui n'ont pas respecté un certain nombre de règles d'écriture, a priori connues des élèves. De plus, l'organisation de la discussion avec le groupe classe ne l'amène qu'exceptionnellement à prendre parti. L'essentiel des erreurs est repéré par les élèves et non par l'enseignant, qui les amène ainsi à prendre conscience de leurs représentations erronées et à les modifier.

4.2.1.6 Conclusion – Discussion

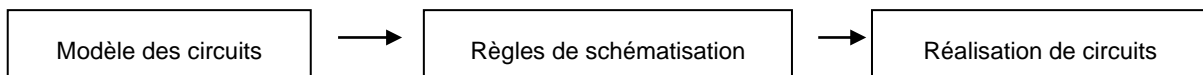
La construction de connaissances dans l'interaction sociale au cours de cette séance de classe s'appuie sur des caractéristiques qui s'écartent de ce qui est fait habituellement en classe de sciences physiques.

Deux points de vue permettent d'éclairer la place de l'écrit dans l'apprentissage pendant cette séance de classe : l'un s'appuyant sur un repère épistémologique, l'autre sur les thèses socioconstructivistes. Pour l'épistémologie contemporaine, la science est vue comme un processus collectif de construction d'une représentation de la réalité. Le concept d'intersubjectivité remplace alors celui d'objectivité. Le discours scientifique n'existe que s'il est reconnu comme tel par la communauté partageant les mêmes critères de rationalité et de preuves, les mêmes exigences méthodologiques, etc. Nous retrouvons cette idée dans

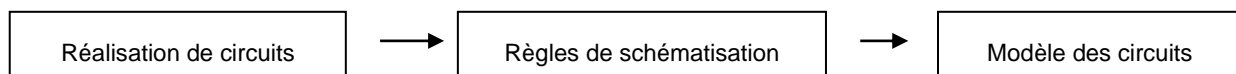
l'usage qui est fait de l'écrit dans cette séance de classe. Un chercheur accepte de présenter le résultat de ses travaux à la communauté scientifique et soumet ceux-ci à la discussion. Ici, chaque élève est susceptible d'être questionné par ses camarades. De plus, selon la thèse vygotkienne, la communication langagière assure une double fonction. « *Les signes utilisés pour agir sur autrui deviennent un outil pour agir sur soi-même : la fonction sociale et communicative des signes (inter-psychique) se transforme en fonction individuelle et intellectuelle (intra-psychique)* » (Roux, 1997, p. 249). L'alternance d'écrit à usage public ou privé devrait permettre aux élèves d'assurer cette transformation. Remarquons que l'enseignant n'est probablement pas conscient de ces aspects puisqu'il évoque quant à lui « l'éducation à la citoyenneté » comme moteur de la séance.

La verbalisation des règles intervient après l'activité de schématisation et la discussion entre élèves et professeur permet alors de dégager des règles d'écriture symbolique. Cette pratique apparaît différente de l'habitude où la verbalisation des règles précède les activités d'application. En général, l'enseignant présente au tableau les règles de schématisation d'un circuit électrique simple et propose ensuite une mise en application expérimentale. Ici, on part du registre empirique pour aller vers le registre du modèle en construisant ensemble le langage intermédiaire alors que la pratique habituelle fait l'inverse.

Pratique habituelle : Démarche déductive d'application



Pratique de l'enseignant observé : Démarche inductive de construction



Les règles de représentation des circuits ne sont jamais explicitées par l'enseignant mais elles sont peu à peu partagées par l'ensemble de la classe, à travers les différentes activités mises en place. La communication scolaire prend la forme de conversations, d'échanges entre professeur et élèves. On trouve un certain souci d'établir des co-références mais il semble que les processus de négociation du sens, engagés entre les individus interagissant, ne soient pas suffisamment maîtrisés par l'enseignant. Au lieu de rechercher les éléments corrects de chaque réponse et de construire la réponse finale à partir d'eux, l'enseignant recherche systématiquement les erreurs pour les faire discuter par la classe et ainsi amener les élèves à une prise de conscience et à corriger eux-mêmes. Il y a partage de savoirs et de pouvoir (Goffard, 1992) ; ceux des élèves sont exprimés et utilisés. Les connaissances peuvent se construire au sein du groupe classe si chacun accepte de partager « son savoir ». La communication scolaire est ici envisagée comme un moyen que se donnent les différents partenaires pour réaliser la tâche proposée à l'ensemble du groupe classe. Le rôle du professeur est fondamental dans cette phase de travail, notamment dans la gestion des processus de négociation accompagnant la recherche de significations partagées. Au final, il semble que l'enseignant crée des situations d'apprentissage intéressantes mais l'exploitation didactique qui en est faite n'apparaît pas totalement satisfaisante. Le fait que l'accent soit mis essentiellement sur la maîtrise de la syntaxe est peut-être à rechercher du côté des Instructions officielles. En effet, le programme de la classe de cinquième insiste sur « *le travail de schématisation ... il s'agira d'apprendre à pratiquer des représentations codées.... On notera bien que l'activité de schématisation prend une place tout particulièrement importante dans cette partie du programme : les élèves y manipulent des représentations symboliques codées comme ils l'ont encore peu, sinon jamais, fait.* » (Programme cycle central, 1997, p. 85)

Au terme de cette étude, une interrogation demeure. Y-a-t-il eu réellement apprentissage dans cette séance de classe ? Le fait que les aspects pragmatique et sémantique aient été

mis de côté semble indiquer qu'une partie du processus d'apprentissage a été oublié. Reprenant les propos de Roux (2003), il y a bien eu construction de connaissances (propres à l'individu) relatives à des savoirs (propres à une culture), production (mise en œuvre de ces connaissances) mais l'aspect interprétation, attribution d'une signification aux objets de savoirs manipulés est absent dans la pratique de l'enseignant. Nous manquons ici d'éléments pour trancher la question.

Finalement, cette étude montre que notre modélisation des interactions didactiques en classe de sciences physiques (cf. 4.1.3.) est utilisable pour analyser une situation d'enseignement ordinaire où les élèves et l'enseignant sont amenés à partager des savoirs au sein de « la communauté classe ». Ces relations aux savoirs sont personnelles (au sens cognitif) mais aussi publiques (au sens social) et elles dépendent de l'institution qui fixe le cadre de l'étude.

4.2.2 Interactions didactiques et ordinateurs portables dans deux situations d'enseignement en physique et en technologie

Cette recherche, menée avec une didacticienne de la technologie, illustre la tentative d'élargir le cadre théorique « tutelle et médiation » en prenant en compte d'une part le concept de contrat didactique, et d'autre part, les apports de la psychologie soviétique qui amène à considérer le travail de l'enseignant comme une activité pour analyser les processus de transmission-appropriation en classe.

4.2.2.1 Introduction

Les études d'usages des technologies de l'information et de la communication dans l'éducation (TICE) se sont multipliées ces dernières années (PNER, 2002; MENRT, 2004; Larose, Grenon & Palm, 2004). Face à la volonté de l'Institution d'intégrer les TIC dans le monde de l'éducation, et de celle des décideurs politiques d'investir dans ces technologies, elles montrent que les usages pédagogiques et didactiques se développent lentement dans les pratiques enseignantes mais que ce développement est encore mal connu. Il semble donc urgent de dépasser une vision centrée sur les aspects techniques pour envisager ses répercussions réelles sur les actes d'enseignement et, à terme, sur la formation des enseignants.

Le contexte de l'étude repose sur des mesures prises par le Conseil Général des Bouches du Rhône à la rentrée scolaire 2003. S'appuyant sur un repérage préalable des changements de pratiques enseignantes (Boilevin, Brandt-Pomares & Ranucci, 2005), cette recherche se propose d'étudier la question de l'enseignement d'un savoir disciplinaire dans une situation mettant en œuvre des ordinateurs portables. Il s'agit d'expérimenter des dispositifs d'enseignement en sciences physiques et en technologie dans lesquels l'ordinateur est présent dès la conception de la situation et ainsi de tenir compte du fait que le mode de transmission-appropriation changeant, les apprentissages des élèves et l'activité enseignante peuvent être modifiés. L'analyse repose sur une méthodologie de recherche commune d'observations provoquées dans les deux disciplines. Le travail présenté ici est centré sur le repérage des conditions d'étude du savoir et plus particulièrement des situations d'enseignement quand celles-ci intègrent les ordinateurs portables. L'analyse des interactions vient éclairer le déroulement de l'activité enseignante.

4.2.2.2 Contexte de l'étude

Lorsque cette étude commence, l'utilisation des TICE n'est pas généralisée dans l'enseignement des sciences physiques. Pourtant, les instructions officielles envisagent leur utilisation. « *Ancré dans l'environnement quotidien, l'enseignement devra utiliser au mieux les moyens contemporains. L'ordinateur est un outil privilégié pour la saisie et le traitement des données ainsi que pour la simulation. Il ne sera en aucun cas substitué à l'expérience*

directe, dont il sera le serviteur » (Programme cycle central, 1997, p.3). Cet extrait du programme du collège en cours pendant l'étude présentée ici est très clair. Mais, face notamment à des difficultés d'équipement, cette prescription est rarement suivie d'effet et le recours à l'informatique est souvent le fait de « pionniers » qui n'hésitent pas à s'investir dans cet outil didactique.

Du côté de la technologie, un tiers du programme de chaque année prévoit, outre l'intégration à tous les enseignements, la familiarisation des élèves avec l'usage de l'outil informatique et ces applications les plus courantes, notamment bureautiques et le traitement informatisé des données. Cette inscription dans les programmes induit des retombées effectives dans l'enseignement et confère le même statut que n'importe quel autre enseignement à l'usage de moyens informatiques. L'inscription dans les instructions officielles donne à l'incitation générale un caractère prescriptif qui rend la discipline technologie responsable d'apprentissages relatifs à la mise en œuvre de l'outil informatique là où la majorité des autres disciplines ont pour mission de l'intégrer à leur discipline en tant que moyen d'enseignement notamment vis-à-vis des compétences du Brevet informatique et Internet (B2i) auxquelles la technologie contribue aussi.

4.2.2.3 *Cadre théorique et problématique*

Cette recherche s'inscrit dans une perspective dynamique pour saisir les modifications simultanées de l'environnement et des pratiques instrumentées dans les situations d'enseignement-apprentissage où la logique de la discipline, celle de l'enseignant et celle de l'élève doivent être analysées (Amigues & Ginestié, 1991; Ginestié & Andreucci, 1997). La situation d'enseignement est considérée dans ce cadre comme une situation d'activité instrumentée dans laquelle le recours aux ordinateurs portables constitue une technologie pour l'enseignement qui interfère sur les relations et interactions didactiques.

A l'instar de Baron et Bruillard (2001) nous pensons qu'une approche centrée sur un champ théorique unique ne suffit pas à expliquer la diversité des phénomènes à prendre en compte. Pour identifier et caractériser les changements de pratiques enseignantes, nous considérons le travail de l'enseignant comme une activité au sens initialement développé par différents auteurs de la psychologie soviétique (Leontiev, 1974, 1975; Luria, 1979; Vernant, 1997; Vygotski, 1985). Ainsi l'introduction des ordinateurs portables permet de penser l'enseignement comme une situation d'activité instrumentée dans laquelle l'usage de l'ordinateur constitue un des moyens d'action de l'enseignant dans son travail. Les processus de transmission-appropriation étant considérés comme centraux dans l'activité enseignante, nous nous attachons à étudier l'influence de l'usage des ordinateurs portables sur ces derniers.

Le contenu des tâches proposées aux élèves et les modes de questionnement adoptés peuvent solliciter différemment le recours à un même outil et ainsi faire varier les conditions instrumentales.

Si on s'appuie sur l'idée que l'apprentissage est lié à la nature du savoir mis en jeu, un point de vue didactique s'impose puisque l'enjeu des échanges en classe (entre professeur et élève (s) ou entre élèves) est la construction de connaissances particulières. Ce qui nous intéresse plus particulièrement est justement de savoir comment les professeurs utilisent cet outil pour enseigner et organiser les conditions d'apprentissage des élèves à propos d'un « savoir disciplinaire » défini. Deux points de vue conceptuels sont adoptés pour réaliser l'analyse dans cette étude.

Nous avons déjà développé le point de vue selon lequel les interactions interindividuelles prennent une place centrale dans les processus d'acquisition de connaissances, ce qui amène à s'intéresser aux rôles de l'enseignant dans les interactions didactiques et particulièrement langagières. Mais le concept de contrat didactique (Brousseau, 1998) amène à étudier l'ensemble des interactions au sein de la relation didactique puisqu'il gère

les interactions complexes entre élèves, savoirs et enseignant. Tout se joue, dans la situation scolaire, comme si les partenaires avaient à respecter des clauses qui n'ont jamais été discutées, clauses qui au fond ne sont jamais entièrement respectées, et dont les ruptures peuvent correspondre à des avancées de la connaissance partagée. Il s'agit en fait d'un système de règles (implicites et/ou explicites) et de décisions (négociées ou non ; spontanées ou non) qui détermine ce que chaque partenaire didactique (enseignant, élève) a la responsabilité de gérer, et dont il sera d'une manière ou d'une autre, responsable devant l'autre. Il préexiste à la situation didactique. L'enseignant et l'élève y sont contraints. Il définit en quelque sorte le métier de l'élève et celui du professeur. Pour Jonnaert et Vander Borght (1999), le contrat didactique, inscrit dans le temps, est le véritable moteur de la relation didactique. Il agit sur des changements de rapport au savoir à travers l'espace de dialogue créé. Il est alimenté par des ruptures de contrat et il s'appuie sur des processus de dévolution didactique et de contre dévolution didactique. Les ruptures didactiques de contrat surgissent lorsque l'élève est confronté à une situation paradoxale (par rapport à son propre savoir) ou lorsque l'attitude de l'enseignant apparaît inattendue, qu'il ne se présente plus comme le garant de la bonne marche des apprentissages scolaires. Les processus de dévolution didactique et de contre dévolution didactique permettent de faire évoluer les rapports au savoir des élèves.

4.2.2.4 Méthodologie

Pour traiter cette question de l'enseignement d'un savoir disciplinaire avec des ordinateurs portables, il s'agit d'expérimenter des dispositifs didactiques à partir d'enseignements où l'ordinateur est présent dès la conception de la situation. Nous n'avons pas eu connaissance dans notre champ d'action de telles situations construites spontanément par des enseignants propices à l'observation. Aussi avons-nous décidé de construire une observation en adoptant une méthodologie commune en sciences physiques et en technologie. Ces études reposent sur un travail d'équipe pour préparer, mettre en place et analyser une séquence d'enseignement mettant en jeu les ordinateurs portables distribués aux élèves. Nous avons contribué à l'élaboration collective avec des enseignants volontaires d'une séquence d'enseignement mise en œuvre par l'un d'entre eux et donnant lieu à des observations en parallèle. Le travail s'est concentré sur la recherche d'enseignements adaptés au développement des potentialités de l'outil informatique. Les savoirs mis en jeu ont fait l'objet d'un travail de sélection pour arriver à voir dans quelle mesure ils méritaient le recours aux ordinateurs portables. En sciences physiques, le choix collectif s'est porté sur l'optique en classe de quatrième et plus précisément sur la couleur et la synthèse additive. En technologie, l'enseignement a été choisi en rapport à l'usage habituel d'ordinateurs fixes ; cependant au-delà du recours à un logiciel utilisé habituellement en conception assistée par ordinateur (CAO), l'accent a été mis sur les aspects de communication rendus plus faciles avec le réseau Internet et l'aspect personnel de l'outil.

D'un point de vue méthodologique, nous construisons d'abord des chroniques thématiques (comme dans les recherches évoquées précédemment) et nous procédons ensuite à une analyse des interactions langagières de façon à caractériser chaque épisode. Pour les deux types d'interaction qui nous intéressent (tutelle et médiation), il existe des points communs : encouragements, invitation à l'explication, rappel de l'attention. Pour les différencier dans les transcriptions, trois critères peuvent être utilisés (Saint-Georges, 2001) :

- La répartition de la durée du discours et le mode de prise de parole qui peut éluder ou aider au franchissement des obstacles ;
- Le guidage des tâches complexes vers le résultat ou l'accomplissement ;
- La prise en compte des erreurs pour favoriser la réussite ou les processus d'apprentissage.

4.2.2.5 Résultats de l'analyse

Les données recueillies concernent une séance d'enseignement de technologie et deux séances d'enseignement de physique (même enseignant mais des classes différentes). Les résultats centrés sur l'analyse des épisodes et des interactions auxquelles ils donnent lieu viennent éclairer l'enchaînement temporel des tâches, les savoirs réellement mis en jeu et leur mode de transmission-appropriation.

L'observation en technologie

La séance de technologie concerne une classe de 3^e et dure deux périodes de 50 minutes. Elle s'articule autour de tâches de CAO (Conception Assistée par Ordinateur). Chaque élève est responsable d'une pièce et, par groupe de trois, ils doivent réaliser, avec le logiciel Solidworks, un assemblage de trois pièces (un porte bloc de papier, un porte crayon et un porte courrier) pour réaliser un set de bureau. Tous les documents leur sont communiqués par fichier (consigne de travail, cahier des charges, fichiers des pièces) et les échanges ont lieu par messagerie grâce au réseau Internet. Le choix de la couleur et du modèle de pièce parmi trois possibilités, ainsi que le respect de contraintes d'assemblage, participent au travail de conception demandé aux élèves. Ils doivent communiquer entre eux par mail pour se coordonner et obtenir les choix des autres membres de la triplète à laquelle ils appartiennent avant de réaliser chacun l'assemblage que le logiciel de CAO permet de faire. Pour réaliser ce travail de conception, la séance va se dérouler dans l'ordre des thèmes suivants : prise en main de la classe, présentation de la séance, tâche 1 : consultation des différents documents électroniques, tâche 2 : échanges sur les propositions de choix, tâche 3 : assemblage CAO.

L'observation en sciences physiques

La séance construite par le groupe d'enseignants s'appuie sur une situation-problème et sur une série de simulations permises grâce à l'utilisation des ordinateurs. L'usage des simulations à l'aide de l'outil informatique a l'air très familier dans le groupe d'enseignants volontaires, possédant par ailleurs une pratique ancienne de l'informatique en classe. Il faut peut-être voir ici une confirmation des résultats des travaux de Zacharia (2003) ou de ceux réalisés dans le cadre du projet européen STISS⁴¹ (Pinto, 2005; Stylianidou et al., cité par Méheut, 2006) qui suggèrent que les enseignants de sciences utilisent plutôt l'ordinateur pour la collecte et le traitement de données et que les potentialités des outils de simulation ne sont perçues que plus tard (notamment après une utilisation par l'enseignant lui-même).

Dans la classe 1, les 45 épisodes identifiés peuvent être regroupés autour de plusieurs thèmes : début de séance ; exposé de la problématique générale de la séance de classe ; tâche 1 : composer une couleur à l'aide d'un logiciel approprié ; tâche 2 : expliquer, à l'aide d'un logiciel, comment la télévision permet de recréer la couleur produite précédemment ; tâche 3 : composer une couleur par addition à l'aide d'un logiciel ; tâche 4 : expliquer le principe de la synthèse additive à l'aide du manuel et de l'expérience réalisée par le professeur avec le vidéo projecteur ; tâche 5 : compléter un schéma à l'aide du manuel et de la synthèse projetée par le vidéo projecteur ; fin de séance. La seconde séance observée comporte moins d'épisodes (33) qui s'avèrent plus longs que dans la séance 1. Le temps didactique est différent dans les deux classes. La dernière tâche sera d'ailleurs reportée à la maison pour la classe 2 par manque de temps. Une première explication de ce décalage est liée au manque d'ordinateurs portables dans la seconde classe qui nécessite une organisation différente de la part du professeur.

Ajoutons que dans les deux classes se pose plusieurs fois le problème des batteries des ordinateurs (chargeur oublié notamment). Le début de séance dans la classe 2 perturbe

⁴¹ Science Teacher Training in an Information Society

aussi l'enseignant qui s'aperçoit que la classe a du mal à entrer dans le jeu de la dévolution. Les élèves ne répondent pas aux nombreuses sollicitations de leur professeur lorsqu'il souhaite les faire participer à la problématisation de l'objet de la séance. A cet égard, le nombre élevé d'épisodes (représentant presque 1/3 du total) est caractéristique. Les élèves jouent en fait le jeu de la contre-dévolution presque systématiquement. Il semble enfin que les compétences techniques des élèves soient moindres dans la seconde classe. Le professeur doit en effet prendre en compte les aspects « instrumentalisation »⁴² alors qu'il souhaiterait passer beaucoup plus vite aux aspects « instrumentation » pour aborder le savoir en jeu dans la séance.

Concernant les modalités d'intervention de l'enseignant au cours des deux séances, notons que l'intervention de type tutelle est quasi systématique dans les tâches recourant à l'ordinateur. Les interventions du professeur (verbales ou non verbales) tendent toutes vers la bonne exécution des tâches avec les logiciels. La médiation est employée dans les moments de dévolution ou de discussion en classe et la communication verbale est de type magistral dans les moments de synthèse. La co-construction ne concerne finalement que certains objets de savoir purement disciplinaires. Les savoirs concernant les TIC ne font pas partie des apprentissages visés dans la séance. Les préoccupations de l'enseignant sont tournées vers la transmission-acquisition de quelques notions disciplinaires (composition d'une couleur, synthèse additive).

4.2.2.6 Discussion et conclusion

Pour 100 minutes de séance de classe de technologie, on dénombre seulement 29 épisodes alors que pour 50 minutes de travail en classe de physique, on en comptabilise plus du double (45 pour la séance 1 et 33 pour la séance 2). Nous pouvons dire que l'enseignant de sciences physiques s'appuie beaucoup plus sur les interactions langagières avec les élèves, notamment dans la phase de dévolution, que l'enseignant de technologie. Mais ensuite, il leur laisse très peu d'autonomie et il exerce un contrôle très strict de leur activité. Le professeur de technologie, de son côté, recourt beaucoup moins aux interactions langagières avec les élèves ; pour autant la conduite de l'activité des élèves est sous contrôle. En fait contrairement à l'enseignement de sciences physiques, les interactions langagières ne sont pas les seules à organiser le travail de l'élève en technologie. Le travail personnel occupe une place importante dans l'organisation de l'étude. Plus précisément, la mise en activité des élèves repose essentiellement sur les consignes données dans les documents ce qui renvoie à une gestion singulière de l'avancée du travail par chaque élève. Les interactions langagières visant la gestion du temps didactique par l'enseignant balise donc beaucoup moins la séance en technologie alors que le professeur est omniprésent, du moins par son discours, en sciences physiques.

Concernant l'usage de l'ordinateur portable, il semble que la genèse instrumentale ne porte pas sur les mêmes dimensions pour l'enseignant et pour les élèves dans l'usage qui en est fait en sciences physiques. L'enseignant qui utilise l'ordinateur comme dispositif expérimental développe l'instrumentalisation alors que les élèves n'auraient à leur charge que l'instrumentation. Il semble qu'il n'y ait pas de co-construction pour ce qui concerne les usages de l'ordinateur portable et des logiciels pour l'enseignant de sciences physiques alors que les élèves pourraient très bien s'entraider (d'ailleurs, cela arrive parfois dans la

⁴² Rabardel distingue l'artefact (ce qui est proposé à l'utilisateur) et l'instrument (ce qui est construit par l'utilisateur dans le cadre de son activité). Cet auteur différencie dans la genèse instrumentale le processus d'instrumentalisation (lié aux artefacts) de celui d'instrumentation (lié aux schèmes). Le processus d'instrumentalisation intéresse la composante artefactuelle de l'instrument par attribution de fonction(s) alors que l'instrumentation tournée vers le sujet est constitutive de la capacité du sujet à « s'adapter à de nouvelles contraintes, de nouveaux objets, à la genèse des schèmes ». (Rabardel & Vérillon, 1985; Rabardel, 1995, cités par Brandt-Pomares, 2003).

classe 1 comme pendant la tâche 3 « Composer une couleur par addition à l'aide d'un logiciel » où des élèves en aident d'autres spontanément). Pour lui, il n'y aurait co-construction que pour des objets de savoir de la physique alors que pour le professeur de technologie, les deux processus de genèse instrumentale (instrumentalisation et instrumentation) sont pris en compte dans l'ensemble de la séance.

4.2.2.7 Conclusion

Les traits caractéristiques du contrat didactique se trouvent confortés par les deux disciplines dans lequel il prend vie mais il est devenu plus difficile à faire vivre. Le rôle attribué à l'ordinateur dans la séquence n'est pas le même dans les deux disciplines. Il a un rôle premier, c'est-à-dire qu'il constitue une fin en soi, concernant l'enseignement de technologie et un rôle second en physique où il est un moyen d'enseigner. Il semble d'ailleurs que l'activité de l'enseignant de sciences physiques ne soit pas réellement modifiée par l'usage des ordinateurs portables. Tout se passe dans la séance de sciences physiques comme si l'ordinateur portable et les logiciels utilisés se comportaient comme un montage expérimental classique où l'essentiel se joue autour des savoirs disciplinaires en jeu, quasiment indépendamment du dispositif expérimental. On peut d'ailleurs se demander s'il n'y a pas une certaine confusion entre l'aspect modélisation et l'aspect purement expérimental car la distinction entre le monde des théories et des modèles et celui des objets et des phénomènes ne semble pas prise en compte dans la séance. En technologie, les élèves se sont davantage familiarisés avec l'ordinateur que ne l'imaginait l'enseignant, notamment pour la gestion de fichiers alors que l'instrumentalisation de Solidworks a présenté plus de difficulté que prévu. Dans les deux cas, le dispositif matériel a joué le rôle d'instrument dans l'activité de l'élève qui ne pouvait réaliser les tâches sans s'en approprier l'usage. Alors qu'en sciences physiques l'enseignant se sert de l'ordinateur pour permettre aux élèves d'apprendre grâce à l'outil le savoir associé aux « travaux pratiques d'optique », en technologie il s'agit d'apprendre en même temps à se servir de l'outil et à réaliser l'exercice de CAO. L'utilisation de l'outil informatique sert à enseigner dans les deux disciplines mais force est de constater qu'il constitue un savoir technologique. Dès la conception de la séance, la différence entre les deux disciplines porte sur le fait que le dispositif qui intègre les ordinateurs portables en réseau est utilisé pour enseigner quelque chose qui ne pourrait pas s'enseigner sans en technologie (CAO et échanges internet) alors qu'en sciences physiques le recours au dispositif informatique ne modifie ni le savoir enseigné ni la façon de l'enseigner. Finalement, on constate que ce ne sont pas les manières d'enseigner qui changent le plus puisque, bien qu'elles soient différentes, celles de technologie comme de sciences physiques sont plutôt confortées : travail guidé en technologie et recours à un dispositif expérimental en physique. Le contrat didactique ne s'est donc pas modifié mais il est devenu plus difficile à faire vivre.

4.2.3 Effet des interactions didactiques de type tutelle sur la construction de la formation des ombres dans la pensée des enfants à l'école maternelle

Cette recherche, menée dans le cadre d'une collaboration avec une équipe grecque, permet d'élargir notre champ d'étude en abordant les interactions didactiques dans l'éducation scientifique préscolaire. Cependant, pour des raisons méthodologiques liées au dispositif de recherche mis en place, le contexte d'enseignement étudié s'éloigne un peu d'une situation de classe ordinaire.

Les recherches en psychologie et en didactique des sciences physiques qui s'orientent vers la construction des connaissances, ont montré que la pensée humaine, même à la petite enfance, approche et explore le monde physique. Les jeunes enfants élaborent les éléments de l'environnement physique et social spontanément ou dans des situations d'interaction et produisent des outils cognitifs qui permettent une construction du réel. C'est pourquoi, partout dans le monde, les curricula scolaires de l'école maternelle portent sur les activités

d'initiation aux propriétés des entités et des objets, aux phénomènes du monde physique ainsi qu'à certains concepts des sciences physiques.

4.2.3.1 *Éléments de problématique*

Trois approches théoriques et méthodologiques des activités scientifiques à l'école maternelle ont été identifiées dans des études préalables (Ravanis, 1996, 2000; Ravanis & Bagakis, 1988). La première catégorie rassemble des activités qui se développent dans des cadres où dominent l'empirisme et les courants behavioristes. L'épistémologie génétique piagétienne constitue le cadre théorique et méthodologique de la deuxième catégorie. La troisième approche, l'approche sociocognitive, regroupe des activités influencées par la théorie de Vygotski et/ou par les théories d'apprentissage post-piagésiennes ainsi que par certains résultats de la recherche en didactique des sciences physiques.

On retrouve dans cette troisième approche, le cadre théorique développé par le « groupe Médiation » qui vise la construction d'interventions pédagogiques et de situations didactiques susceptibles de favoriser le passage des représentations naïves, implicites, locales et non conscientes des notions ou des phénomènes à des conceptions et des formes mentales explicatives plus conformes au discours scientifique. L'enseignant peut ainsi intervenir comme un tuteur et/ou un médiateur entre d'une part, les systèmes de pensée des jeunes enfants et, d'autre part, les connaissances et les pratiques scientifiques.

L'étude présentée ici porte sur la comparaison de l'efficacité de deux interventions didactiques différentes à propos du phénomène de la formation des ombres à l'école maternelle. La première intervention, inspirée par l'approche sociocognitive, est organisée afin de déstabiliser les représentations des enfants et de conduire à la construction d'un modèle précurseur⁴³ pour la formation des ombres. La seconde est un travail caractéristique du courant empiriste où on expose aux enfants les conditions de la production de l'ombre des objets et où on leur demande de développer une série d'activités.

4.2.3.2 *Éléments de méthodologie*

Des recherches précédentes qualitatives avec les enfants de l'école maternelle (Ravanis, 1996, 1998; Dumas-Carré, Weil-Barais, Ravanis & Shourchah, 2003) ont permis de distinguer trois obstacles principaux dans les raisonnements et les explications des élèves : une difficulté pour reconnaître le mécanisme de la formation de l'ombre, une difficulté pour définir la place de l'ombre par rapport à celle de la source et de l'obstacle et une difficulté pour identifier la correspondance entre le nombre des sources et celui des ombres. Les interventions en classe sont donc tendues vers ces trois objectifs éducatifs concrets et devraient conduire à la construction dans la pensée des enfants d'un modèle précurseur pour les ombres dont la caractéristique fondamentale est la reconnaissance de la formation des ombres comme résultat de l'empêchement de la propagation de la lumière par un objet.

La méthodologie repose sur un dépistage des représentations des sujets quant à la formation des ombres à l'aide d'un pré-test et d'un post-test qui suit la phase expérimentale. Il s'agit d'entretiens individuels dirigés où les enfants sont invités à faire des prévisions ou à donner des explications sur des phénomènes d'optique autour de trois tâches :

- Tâche 1 : en utilisant la lumière du soleil, on forme l'ombre d'un objet de la salle de classe. Au cours de l'entretien, les enfants doivent faire une description et donner des explications sur la formation de l'ombre ;

⁴³ Les travaux de Weil-Barais et Lemeignan (1994) ont montré que ce type de modèle, comportant un certain nombre de caractéristiques des modèles savants, constitue un précurseur des modèles scientifiques.

- Tâche 2 : les enfants doivent prévoir les places éventuelles d'ombres par rapport à la place d'une lampe et de l'objet duquel on forme l'ombre, sans qu'ils réalisent la tâche ;
- Tâche 3 : les enfants doivent prévoir « où peut se former l'ombre d'un obstacle vertical quand on allume deux lampes fixes » et « comment ça se forme », là encore sans qu'ils réalisent la tâche.

L'échantillon est constitué de 70 élèves grecs (35 garçons, 35 filles de 5,5 à 6,5 ans). La population provient de 6 classes d'écoles maternelles différentes. Il s'agit d'enfants dont les parents ne disposent pas de connaissances particulières en sciences physiques puisqu'ils n'ont pas fait d'études universitaires (niveau d'étude compris entre la fin du primaire et la fin du secondaire). Ces sujets, qui dans leur compréhension des phénomènes liés à la formation des ombres, font preuve d'un type de raisonnement que nous pourrions appeler « intuitif », ont été répartis dans deux groupes (expérimental et contrôle) composés de 35 sujets chacun (garçons et filles).

Quinze jours après le pré-test, les sujets du groupe expérimental participent aux interactions didactiques visant la déstabilisation de leurs conceptions naïves et la construction d'un modèle précurseur, tandis que les enfants du groupe contrôle suivent l'enseignement de la même matière dans une approche traditionnelle de type empiriste. Chaque séance d'intervention didactique expérimentale visant à la reformulation des représentations dure une quinzaine de minutes avec des petits groupes de 2 à 3 enfants. Cet enseignement est effectué par des institutrices, spécialement formées dans un cours à l'université, animé par les membres de l'équipe de recherche, et faisant partie d'une unité didactique sur l'éveil scientifique à l'école maternelle. L'approche utilisée devrait permettre aux enfants de se représenter l'ombre non pas comme un objet ayant une existence autonome, mais comme un objet dont l'existence dépend de l'absence de lumière ou de l'empêchement de propagation de la lumière qui la constitue. La procédure ne se déroule pas dans les conditions habituelles d'une classe normale mais elle a lieu dans une salle spécialement aménagée à cet effet à l'intérieur des écoles. Le groupe contrôle suit, quant à lui, une activité introduite sur le mode de la fiction et qui fait souvent appel à des manipulations d'objets et des observations de phénomènes.

Nous nous attendons à ce que lors du post-test, les enfants du groupe expérimental reconnaissent plus souvent que les enfants du groupe contrôle le mécanisme de la formation de l'ombre (première hypothèse). Par ailleurs, ces mêmes enfants du groupe expérimental devraient reconnaître plus fréquemment que ceux du groupe contrôle la place de l'ombre par rapport à celle de la source et de l'obstacle (deuxième hypothèse) et ils devraient aussi repérer la correspondance entre le nombre des lampes et celui des ombres (troisième hypothèse).

4.2.3.3 Résultats

Les réponses reçues durant les entretiens du pré-test et du post-test sont classées en deux catégories : les réponses suffisantes et les réponses insuffisantes. Sont considérées comme suffisantes les réponses qui sont suivies d'une explication satisfaisante du point de vue du modèle précurseur évoqué précédemment. Dans la seconde catégorie, sont regroupées les réponses qui, à la première tâche, n'évoquent pas la relation entre la lumière et l'objet pour la formation de l'ombre, ne peuvent pas expliquer les positions de l'ombre, de l'objet et de la lumière à la deuxième tâche, et qui, à la troisième tâche, ne reconnaissent pas la correspondance entre le nombre de lampes et des ombres.

Un traitement statistique des réponses est réalisé où l'on définit comme progrès le passage d'une réponse insuffisante à une réponse suffisante. Les réponses des sujets sont alors classées dans trois catégories, en termes de progrès, stagnation ou recul des performances entre le pré-test et le post-test. Le tableau ci-dessous permet de comparer les résultats pour le groupe expérimental (G.E.) et le groupe contrôle (G.C.).

		G.E.	G.C.
Tâche 1	Progrès	26	3
	Stagnation	9	32
	Recul		
Tâche 2	Progrès	25	5
	Stagnation	10	29
	Recul		1
Tâche 3	Progrès	28	11
	Stagnation	7	24
	Recul		

Tableau 4 : Fréquences de sujets qui progressent, stagnent ou reculent entre le pré-test et le post-test dans les deux groupes

La première hypothèse semble se confirmer comme l'indiquent les résultats du tableau 4. En effet, dans ce cas, nous constatons que, entre le pré-test et le post-test, 26 élèves du groupe expérimental contre 3 du groupe de contrôle, réalisent un progrès en donnant des réponses justes et bien expliquées (Test Mann-Whitney : $p < 0.001$). En ce qui concerne la deuxième tâche, on peut constater aussi une nette supériorité des performances des sujets du groupe expérimental. 25 élèves du groupe expérimental contre 5 du groupe de contrôle réalisent un progrès entre le pré-test et le post-test (deuxième hypothèse, $p < 0.001$), étant donné qu'ils prévoient et expliquent correctement les positions de l'ombre, de l'objet et de la lumière. Dans la troisième tâche, nous nous apercevons que, entre le pré-test et le post-test, 28 élèves du groupe expérimental contre 11 élèves du groupe de contrôle réalisent un progrès (troisième hypothèse, $p < 0.005$). Cependant, on remarque que malgré les différences statistiquement significatives entre les deux groupes, un nombre relativement important d'enfants du groupe expérimental ne progressent pas.

4.2.3.4 Discussion

Selon notre hypothèse, les sujets qui ont participé à la procédure didactique sociocognitive allaient pouvoir différencier d'une façon significative leurs représentations et construire un modèle précurseur sur le problème de la formation des ombres, par rapport aux élèves qui ont suivi des activités traditionnelles construites selon un cadre empiriste. Le contrôle de nos hypothèses opérationnelles dans les trois tâches étudiées semble confirmer le rôle du guidage de l'élève vers une démarche de preuve dans la reconstruction de ses représentations spontanées. La compréhension du phénomène de la formation de l'ombre dépendrait donc d'un effort de déstabilisation didactique susceptible de permettre à l'enfant d'effectuer de nouvelles modélisations et d'inférer des explications pertinentes des phénomènes physiques observés. D'ailleurs, la stabilité des progrès effectués par les élèves du groupe expérimental, comme elle a été démontrée dans les trois tâches qui ont suivi la phase expérimentale, montre l'assimilation effective du nouveau modèle précurseur sur la notion de la formation des ombres. Par contre, certains enfants ne réussissent toujours pas à expliquer des phénomènes qui nécessitent la compréhension de la formation des ombres et ils n'arrivent pas à acquérir les éléments principaux du modèle précurseur de la formation des ombres. Certaines analyses qualitatives effectuées dans d'autres recherches sur le même sujet d'étude ont montré qu'il s'agit d'enfants qui ne contribuent pas suffisamment aux interactions et qui ne prennent pas d'initiatives dans les manipulations des objets réels

(Ravanis, 1998; Dumas-Carré et al., 2003). Ces difficultés au niveau de communication et de collaboration pourraient éventuellement expliquer la persistance des difficultés cognitives.

Cette recherche donne quelques indications sur l'importance de la planification d'interventions didactiques ayant comme objectif la déstabilisation et la reconstruction des représentations des très jeunes élèves et sur le rôle positif de l'enseignant dans les interactions didactiques qui peuvent conduire aux transformations tant au niveau logique qu'au niveau des représentations des concepts physiques. Elle montre aussi l'importance de concevoir les relations aux savoirs non seulement comme privées mais aussi comme publiques pour arriver à faire partager des savoirs au sein d'un groupe d'élèves. Enfin, les résultats quantitatifs des séances didactiques renforcent l'hypothèse selon laquelle l'efficacité au niveau cognitif des activités déployées dans le cadre sociocognitif est supérieure par rapport à celle des activités traditionnelles réalisées dans le cadre empiriste.

4.3 Discussion - Bilan

Les recherches développées à propos des interactions didactiques à l'aide des concepts de tutelle et de médiation scolaire semblent prometteuses pour rendre compte des processus et des mécanismes favorisant les apprentissages des élèves en classe de sciences. L'adoption d'un triple point de vue : épistémologique (les connaissances se construisent, doivent être validées et partagées par la communauté à un moment donné) ; psychologique (théorie socioconstructiviste sur l'apprentissage) ; sur la communication (les significations sont construites au cours des interactions) amène à reconsidérer le rôle de l'enseignant. Dans la modélisation que nous proposons (cf. 4.1.3.), les élèves sont considérés comme des individus à part entière pouvant exprimer leurs idées alors que le professeur est le garant des savoirs constitués. Les interactions didactiques ont lieu entre élèves, ou entre des élèves et le professeur, à propos de savoir(s) au sens d'intermédiaire intellectuel entre le monde et l'homme. Elles doivent amener à partager les savoirs au sein de la « communauté classe ». Ces relations aux savoirs ont un caractère cognitif et social et elles dépendent de l'institution. Pour décrire les interactions didactiques, nous disposons de deux concepts différents mais complémentaires. La tutelle est centrée sur le guidage de l'action alors que la médiation renforce la construction des significations partagées, tout en permettant aux élèves de réaliser les tâches qui leur sont proposées. La distinction de ces deux modes interactifs caractérise plutôt des types de séquences didactiques que des styles pédagogiques. L'appropriation des connaissances par les élèves nécessite en effet ces deux modes d'interactivité et leur recours dépend des intentions didactiques des enseignants et des besoins des élèves.

Cependant, les résultats empiriques (notamment en conditions "normales" de classe ordinaire) sont encore en nombre insuffisant pour évaluer la portée de ce cadre théorique. En plus des exemples que nous venons de présenter, d'autres travaux en éducation scientifique sont menés en France. En particulier, Saint-Georges (2001), Saint-Georges et Calmettes (2003) ont développé des outils pour affiner le repérage de ces différents types d'interactions didactiques dans l'enseignement des sciences physiques. Pour sa part, Numa-Bocage (2007) tente de modéliser l'aide didactique apportée par l'enseignant au cours préparatoire en s'appuyant sur les concepts de tutelle et de médiation. De son côté, Morge (2001, 2003a, 2003b) s'intéresse aux interactions maître-élèves dans les phases de conclusion et particulièrement à la gestion par l'enseignant des productions des élèves en recourant à la notion de « connaissance professionnelle locale » caractéristique de telle ou telle situation d'enseignement. Cela conduit à questionner l'efficacité d'une gestion socioconstructive de ces interactions par rapport à une gestion plus traditionnelle (Toczek & Morge, 2007, 2009). Étudiant le rapport expérimental au vivant dans l'enseignement des sciences de la vie, Coquidé (2000, 2003), quant à elle, distingue trois modes didactiques d'activités expérimentales qui représentent des moments possibles à l'intérieur d'un apprentissage : le mode de familiarisation pratique (expérience-action ou expérientiation), le

mode d'investigation empirique (expérience-objet ou expérimentation) et le mode d'élaboration théorique (expérience-outil ou expérience-validation). Reprenant le cadre théorique « tutelle et médiation » dans une recherche qu'elle a coordonnée, cet auteur décrit les modalités d'intervention de l'enseignant selon ces trois modes didactiques (Coquidé, 1998). Cette étude montre une répartition des rôles de tutelle et de médiation dans les modes de familiarisation pratique et d'élaboration théorique alors que le mode d'investigation empirique se rapporte essentiellement à des interactions de type médiation.

Dans le domaine de l'éducation technologique, Ginesté (2008c) étudie lui aussi la répartition des rôles entre l'enseignant et les élèves. Abordant la question à partir de la théorie de l'activité, il indique que « *l'enseignant joue un rôle décisif dans l'engagement [des élèves] dans la tâche, et par la suite, pour soutenir leur activité* » (p. 229). En effet, le risque est grand de confondre le produit, résultat des activités pratiques réalisées par les élèves, et le résultat en termes d'apprentissages. De plus, les enjeux de savoir peuvent être masqués si les difficultés des élèves sont aplanies par l'enseignant au cours de la séance de classe. Ginesté distingue deux rôles possibles pour l'enseignant : facilitateur ou frein dans le processus de construction de connaissances. Dans le premier cas, il est régulateur de l'activité alors que les élèves sont concepteurs des actions qu'ils organisent eux-mêmes. Dans le second cas, l'enseignant procède par un fort guidage et les élèves n'ont qu'un rôle d'exécutants. Dans cette distinction, on retrouve, nous semble-t-il, les principaux aspects des rôles de l'enseignant évoqués dans le cadre théorique « tutelle-médiation » même si la recherche d'un partage des significations n'est pas suffisamment développée, à notre sens, dans le rôle de régulateur présenté par Ginesté.

D'autres travaux concernant les interactions didactiques en classe de sciences physiques sont menés dans le cadre de la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensévy & Mercier, 2007). Cette théorie de l'action distingue notamment trois dimensions pour comprendre l'action des enseignants : la dimension chronogénétique (gestion de l'avancée du savoir dans le temps par l'enseignant) ; la dimension mésogénétique (productions de milieux des situations et organisation des rapports à ces milieux) ; la dimension topogénétique (position de l'enseignant et des élèves par rapport au savoir). Certaines études (Malkoun & Tiberghien, 2008; Tiberghien & Malkoun, 2007) mettent l'accent sur les relations savoirs-interactions dans la perspective d'étudier les relations entre l'enseignement et l'évolution des acquisitions des élèves. D'autres travaux portent sur l'aspect temporel de la progression du savoir en classe de physique en analysant plus particulièrement les décisions chronogénétiques des enseignants (Badreddine & Buty, 2007, 2009).

En fait, ce type de recherches correspond à un domaine en expansion depuis quelques années. En effet, sous l'influence de l'évolution de différents domaines, notamment des sciences du langage, les travaux des didacticiens des sciences s'intéressent aux interactions langagières dans l'étude des situations d'enseignement-apprentissage, comme le montre la double publication de la revue *Aster* (2003, 2004). « *Tout ce qui se dit ou s'écrit au cours des apprentissages de connaissances scientifiques devient un double domaine d'investigation : les discours échangés témoignent d'un processus tout autant que leur nature reflète le contenu même de ce qui est enseigné-appris. Il s'agit désormais de mieux comprendre comment les échanges langagiers interviennent dans les acquisitions scientifiques, en rythment et conditionnent le déroulement, mais peut-être aussi les constituent* » (Peterfalvi & Jacobi, 2003). Les didacticiens des sciences étudient ainsi l'élaboration des connaissances scientifiques au travers des activités langagières (entre pairs, entre enseignant et élèves), les interactions spécifiques des apprentissages scientifiques autour de l'argumentation et des activités expérimentales, retrouvant d'une certaine façon le « débat scientifique dans la classe » introduit par Johsua et Dupin (1989).

Mais les recherches sur les interactions langagières appartiennent elles-mêmes au courant interactionniste qui conduit à s'intéresser aux processus interactionnels en sciences de l'éducation. L'ouvrage coordonné par Filliettaz et Schubauer-Leoni (2008) participe ainsi au débat dans ce champ de recherche et aborde « *les défis qui se posent à l'étude de tels*

processus, et ce à la fois aux plans empirique, méthodologique et épistémologique » (p. 8). Ces auteurs proposent une modélisation des processus interactionnels reposant sur « *une combinaison de trois ordres de réalités qui méritent d'être envisagés conjointement : l'ordre interpersonnel, qui renvoie aux mécanismes de coordination et de coopération dans des formes d'actions collectives ; l'ordre socio-historique, qui renvoie aux environnements institutionnels et culturels dans lesquels les interactions prennent place ; et enfin l'ordre sémiotique par lequel ces mécanismes de coordination et d'orientation dans l'environnement social sont accomplis* » (p. 10). Dans un contexte éducatif, l'interaction est pensée comme relevant d'une organisation ternaire (interactant A, interactant B, objets de savoir) et plus seulement binaire engageant des participants (par exemple maître - élève). Dans ce type de contexte, en effet, l'enjeu éducatif repose souvent sur des objets de savoir sur lesquels portent les interactions et l'organisation ternaire permet alors d'exprimer le rapport qu'entretiennent les différents participants avec ces savoirs. Analysant les différentes problématiques des contributions de cet ouvrage, Filliettaz et Schubauer-Leoni identifient deux sous-ensembles. Le premier concerne les processus interactionnels en lien avec la question des savoirs et des apprentissages. Le second porte sur les interactions en lien avec la compréhension et la transformation des situations éducatives. Cette catégorie amène ces auteurs à discuter des liens entretenus par l'analyse des processus interactionnels avec l'analyse de l'activité tant d'un point de vue théorique que méthodologique. Concernant la première catégorie, Filliettaz et Schubauer-Leoni discutent notamment de la difficulté de tenir à la fois théoriquement et méthodologiquement le modèle ternaire. Dans les approches didactiques, l'enseignant aurait ainsi été longtemps négligé. En particulier, les études sur les interactions didactiques seraient, selon ces auteurs, peu nombreuses. De ce point de vue, il semble que nos propres travaux dans le cadre du modèle « tutelle et médiation » contribuent à ce champ de recherche. La modélisation des interactions didactiques que nous proposons (figure 6, p. 69) semble en effet tout à fait cohérente avec la conceptualisation envisagée par Filliettaz et Schubauer-Leoni.

D'un point de vue méthodologique, la construction de chroniques thématiques, telle que nous l'avons évoquée, semble tout à fait pertinente pour analyser les activités langagières dans les situations de classe mais deux points mériteraient une réflexion complémentaire. Cette technique d'organisation et de traitement des transcriptions ne permet d'accéder qu'aux événements situés à l'échelle de temps microscopique (épisode) et macroscopique (séance de classe). Cette dernière donne accès au temps didactique mais il manque une échelle de temps plus grande pour analyser les pratiques interactives de l'enseignant sur plusieurs semaines. Une solution semble envisageable avec le découpage thématique⁴⁴ proposé par Tiberghien, Malkoun, Buty, Souassy et Mortimer (2007) dans le cadre théorique de l'action conjointe. Ces auteurs distinguent trois échelles de temps : l'échelle macroscopique de l'ordre de l'année ou du mois, l'échelle mésoscopique correspondant au temps didactique et l'échelle microscopique représentant le grain le plus fin d'analyse. Badreddine et Buty (2007) construisent ainsi un « script de continuité » pour organiser et analyser des données à l'échelle macroscopique. De leur côté, Tiberghien et Malkoun (2007) réalisent l'analyse à l'échelle microscopique selon deux points de vue. D'une part, elles analysent la décomposition du savoir en facettes⁴⁵ ; d'autre part, elles étudient les tâches épistémiques⁴⁶ représentant les processus de pensée personnels et interpersonnels en jeu dans la compréhension du monde matériel.

⁴⁴ Notons aussi, comme le souligne d'ailleurs Gilly et al. (1999), que suivant les travaux de recherche et les cadres théoriques, les usages du vocabulaire ne semblent pas stabilisés. Tiberghien et al. (2007) évoquent les thèmes et les sous thèmes alors que Weil-Barais et Bouda (2004) s'appuient sur des analyses à trois niveaux : épisodes, séquences, échanges.

⁴⁵ Ce concept est proposé par Minstrell (Minstrell, 1992, cité par Tiberghien & Malkoun, 2007).

⁴⁶ Cette idée est introduite par Ohlsson (Ohlsson, 1996, cité par Tiberghien & Malkoun, 2007).

Cependant, l'accent mis sur les productions verbales dans la construction de chroniques thématiques ne prend pas assez en compte les autres productions sémiotiques. Par exemple, la distinction des gestes communicationnels qui accompagnent, orientent et complètent les productions verbales des gestes praxiques directement liés à la réalisation de la tâche (Bronckart et al., 2004) pourrait apporter des éléments complémentaires dans les analyses menées jusqu'alors. Cela supposerait des modifications de la méthodologie pour organiser l'analyse des données vidéoscopiques et pour recourir à des entretiens post-séance avec les enseignants ou avec les élèves pour accéder à la signification des gestes praxiques. La multiplicité des modes de communication à l'œuvre du côté de l'enseignant et des élèves (écriture, parole, images, gestes) amène alors certains auteurs à parler de multimodalité pour décrire cette approche visant à analyser l'enseignement et l'apprentissage en classe (Kress, Jewitt, Ogborn & Tsatsarelis, 2001). On retrouve cette dimension multimodale dans les travaux de Badreddine et Buty (2009) et de Tiberghien et Malkoun (2007). De leur côté, Bécu-Robinault et Lund (2009) analysent, à l'aide du concept de « faisceau sémiotique », les reformulations multimodales mobilisées par une enseignante de physique pour prendre en compte les difficultés des élèves. Quant à Givry, s'appuyant sur les travaux de Goodwin (Goodwin, 2000, cité par Givry, 2003), il considère que la parole, les gestes et les éléments saillants de la situation sont des ressources sémiotiques qui forment le sens global du discours des participants. Et il se base sur l'articulation simultanée de ses trois modalités pour analyser les interactions en classe (Givry, 2003; Givry & Roth, 2006).

5 Didactique des sciences et formation des maîtres

Les études sur les pratiques enseignantes et la formation des maîtres constituent de vastes champs de recherche mais, en ce qui concerne plus particulièrement les enseignants de sciences, Méheut (2006) repère trois thèmes principaux.

Certains travaux s'intéressent aux conceptions des enseignants sur les sciences et sur l'enseignement-apprentissage des sciences en supposant que ces conceptions ont un impact sur les pratiques enseignantes. Ce premier champ de recherches est développé dans le monde anglo-saxon comme dans le monde francophone comme le montrent les exemples commentés par Méheut (2006), Leach (2006) ou Robardet et Vérin (1998) dans le domaine des sciences physiques. Les liens éventuels entre conceptions de la science, conceptions de l'apprentissage et pratiques d'enseignement sont objets de nombreux débats et les réponses à ces questions ne semblent pas tranchées (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000).

D'autres travaux concernent directement les pratiques d'enseignement et tentent d'identifier le rôle des différents déterminants des pratiques pédagogiques et les manières de les faire évoluer. La question de la formation des maîtres est alors centrale et les travaux visant à favoriser l'élaboration de savoirs professionnels s'appuient sur des concepts différents : *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) ou *connaissance pédagogique du contenu* proposée par Shulman⁴⁷ ; *connaissance professionnelle locale* (Morge, 2003a, 2003b) et *connaissance professionnelle didactique locale* (Morge, 2008) ; les *savoirs pratiques professionnels* (Porlan & Martin, 1994; Porlan, Azcarate & Martin del Pozo, 1998) ou bien encore les références interdisciplinaires à la base des compétences professionnelles des enseignants (Duit, 2007).

Un dernier thème est constitué par les recherches sur la diffusion des pratiques innovantes dans le milieu des enseignants de sciences. Il s'interroge notamment sur le peu d'efficacité des différents types de dispositifs innovants sur les modifications des pratiques enseignantes.

La situation française apparaît cependant particulière avec la mise en place des IUFM (Institut Universitaire de Formation des Maîtres) en 1991 qui s'est accompagnée d'un certain nombre de recommandations, notamment à propos de l'introduction de la didactique dans la formation des enseignants et de la nécessité d'une articulation entre théorie et pratique. Les liens entre didactique et formation se sont donc resserrés tout en s'accompagnant d'un grand nombre de questions (Robardet & Vérin, 1998) : quels espaces de rencontre entre recherche et formation ? la didactique est-elle là pour former ou bien pour penser la formation ? Les questions du choix des savoirs didactiques nécessaires pour la formation et de la transposition des résultats de recherche en didactique apparaissent à cet égard importantes. Mais une autre série de questions est posée à la recherche en didactique : quels types de formation proposer ? Comment rendre opérationnel de tels types de formation ? Comment articuler théorie et pratique ? Quels sont les modèles privilégiés en formation ? Comme le notent Robardet et Vérin (1998), la didactique des sciences ne peut prétendre à l'exclusivité des apports nécessaires à la formation pour enseigner les sciences, d'autant qu'elle constitue un cadre de recherche encore jeune. Mais elle doit pouvoir apporter des éléments de réponse à ces différentes questions.

Pour notre part, nous avons conduit ou participé à des travaux de recherche dans les trois thèmes identifiés par Méheut (2006) et plus particulièrement dans le domaine des sciences physiques. Nous les présentons dans la suite de ce chapitre.

⁴⁷ Un récent numéro spécial de la revue *International Journal of Science Education* (volume 30, numéro 10, 2008) est consacré aux travaux de recherche actuels s'appuyant sur le concept de PCK.

5.1 Conception et analyse du fonctionnement d'un module de formation initiale d'enseignants de physique-chimie

Cette recherche a été conduite dans le cadre de notre travail de thèse (Boilevin, 2000). Réalisée au sein du GDSE P7 (LIREST), elle fait suite aux travaux de Saint-Georges (1996) et Morge (1997) sur la formation des enseignants de physique-chimie et elle s'inscrit dans le cadre de la réflexion du groupe « Médiation ». Nous avons déjà présenté une partie du cadre théorique dans les chapitres précédents ainsi que certains aspects méthodologiques et quelques-uns des résultats. Nous exposons ici l'économie générale du projet et nous insistons sur les analyses du module de formation mis en place.

5.1.1 Cadre théorique - Problématique

Dans notre travail, nous nous sommes intéressé à la formation professionnelle des enseignants de sciences physiques au sein des Instituts Universitaires de Formation des Maîtres. Nous avons montré que considérer celle-ci comme une recherche de professionnalisation (au sens de Trousson, 1992) conduit à mettre l'accent sur l'articulation théorie-pratique et à mettre en place un dispositif permettant la construction de savoir-faire réfléchis en vue de la rationalisation des savoirs professionnels, comme le propose Bourdoncle⁴⁸ (1991). Les contenus de formation devraient se centrer sur l'idée de savoir pratique professionnel (selon les termes de Porlan et al., 1994, 1998) comme intermédiaire entre des savoirs pratiques (centrés sur l'action) et des savoirs théoriques (où la didactique tient une place de choix). Ce lien permettrait de développer chez les enseignants une capacité à contrôler leur pratique à partir d'éléments théoriques. Pour ce faire, il s'agit de concevoir la formation comme une modification des pratiques et des conceptions épistémologiques et didactiques des enseignants. Comme le préconise Morge (1997), ce dispositif devrait proposer une interaction entre changement de conceptions et changement de pratiques. Ceci nous paraît tout à fait cohérent avec le triple point de vue adopté sur la connaissance, l'apprentissage et la communication (chapitre 4). La stratégie employée par Altet (1994, 1996) dans son modèle «pratique-théorie-pratique» nous semble répondre à ces exigences, mais en privilégiant les concepts de la didactique des sciences comme éléments d'analyse de la pratique. Le recours à l'analyse de pratique permet en effet de sortir du discours normatif et du jugement de valeur : il s'agit d'une analyse compréhensive à l'aide d'outils conceptuels proposés par le formateur et reconstruits par le groupe de stagiaires. Ce type de dispositif permet une mise en contexte de savoirs théoriques tout en prenant en compte les pratiques réelles des enseignants ainsi que les contraintes liées au fonctionnement institutionnel. Ajoutons que l'originalité du dispositif apparaît dans la conception de la communication adoptée qui prend en compte les contenus d'apprentissage et les enjeux conceptuels, contrairement aux dispositifs de formation focalisés sur les aspects uniquement relationnels ou psycho-sociaux.

Si on fait l'hypothèse que la transformation des pratiques passe par l'objectivation des interactions éducatives par les enseignants, la recherche en didactique peut apporter des outils pour analyser les pratiques de classe et particulièrement celles concernant la construction des connaissances au cours des interactions éducatives. L'adoption d'un triple point de vue : épistémologique (les connaissances se construisent, doivent être validées et partagées par la communauté à un moment donné) ; psychologique (théorie

⁴⁸ Ajoutons que Lang (2006) propose une typologie des modèles de formation des maîtres : académique, artisanal, sciences appliquées et techniques, professionnel, personnaliste, acteur social et critique. Concernant le modèle du professionnel, il repère quatre thèmes le caractérisant : centration de l'exercice professionnel sur le processus enseigner-apprendre, affirmation de l'existence des savoirs et des compétences propres au groupe professionnel, articulation de l'activité professionnelle autour de logiques multiples, ambition d'articuler étroitement la pratique, les savoirs d'expérience et les « savoirs savants ».

socioconstructiviste sur l'apprentissage) ; sur la communication (les significations sont construites au cours des interactions) amène à reconsidérer le rôle de l'enseignant. Il n'est plus celui qui transmet des connaissances toutes élaborées sous forme expositive mais celui qui aide les élèves à en construire à l'occasion des interactions didactiques. Il devient alors un tuteur et/ou un médiateur. Ces rôles apparaissant nouveaux, il convient de mettre en place un apprentissage et de proposer une formation aux enseignants notamment en formation initiale.

L'objet de la recherche que nous avons menée vise à concevoir un dispositif de formation permettant l'apprentissage de ces rôles (en insistant notamment sur l'importance de la maîtrise de la communication). Il s'agit de concevoir, de mettre en place et d'évaluer une formation de professeurs stagiaires IUFM de physique-chimie visant à développer des compétences pour aider les élèves dans la construction de leurs connaissances, en particulier des compétences de type tutelle et médiation. L'enjeu principal de cette formation est de fournir des moyens pour transformer les pratiques actuelles de l'enseignement scientifique qui s'avèrent bien souvent dogmatiques.

Le dispositif s'articule sur l'analyse de corpus externes et internes aux enseignants en formation, à partir de cadres d'analyse des interactions proposés par le formateur, et sur l'appropriation d'un modèle d'activité. Concrètement, il s'agit de faire construire une séquence de classe (sous certaines contraintes) à un groupe de stagiaires volontaires, de faire mettre en œuvre cette séquence et de faire objectiver les pratiques sous l'angle de la médiation à partir de transcriptions de séquences de classe extérieures au groupe et propres au groupe.

La recherche comporte deux parties. Il s'agit, d'une part de concevoir des activités de formation qui prennent en compte les savoir-faire disponibles chez les stagiaires ainsi que des cadres conceptuels qui se sont avérés pertinents au cours de recherches antérieures pour rendre compte des interactions en classe ; de mettre en place ces activités ; de rendre compte de la façon dont elles fonctionnent. Il s'agit, d'autre part, d'évaluer l'impact d'une telle formation auprès des stagiaires en étudiant la manière dont ils se saisissent des cadres d'analyse suggérés pour produire eux-mêmes des outils d'analyse.

Ce travail se situe dans le courant des recherches sur les processus d'enseignement et notamment les travaux du groupe « Médiation » sur les interactions en classe : interactions entre maître et élèves ou entre élèves. Le présupposé de ce groupe de recherche est qu'il n'est pas raisonnable d'attendre la formation de compétences professionnelles de type interaction avec les apprenants en accumulant des informations relevant de différents champs de connaissances.

L'idée générale est de rechercher si le travail de préparation de la séquence de classe est relié par les stagiaires à leur pratique et à leur objectivation des pratiques, ou s'il s'agit de deux parties distinctes, sans relation entre elles. Il existe ainsi plusieurs niveaux d'analyse des interactions. Il y a tout d'abord interaction entre les stagiaires et leurs élèves. L'analyse en est faite par les stagiaires et le formateur, ce qui donne lieu à des interactions entre stagiaires et entre stagiaires et formateur. Ces deux niveaux d'interactions sont ensuite étudiés par le chercheur, qui est aussi le formateur.

5.1.2 Dispositif de formation

Le principe d'homomorphisme vise à montrer que les dispositifs développés par le formateur « *entretiennent une certaine parenté avec ce que le formé aura à installer pour ses élèves, à son retour dans la classe* » (Astolfi et al., 1997). Ceci nous amène à choisir un dispositif de formation présentant une certaine cohérence avec les pratiques interactives à mettre en place en classe par les jeunes enseignants. L'élaboration de la connaissance est conçue comme une construction sociale, située historiquement. En formation des maîtres, il s'agit alors de mettre en œuvre des significations partagées. En nous inspirant du schéma de

modélisation des interactions didactiques en classe de sciences physiques (cf. 4.1.3.), nous pouvons modéliser le principe de conception du module de formation comme suit :

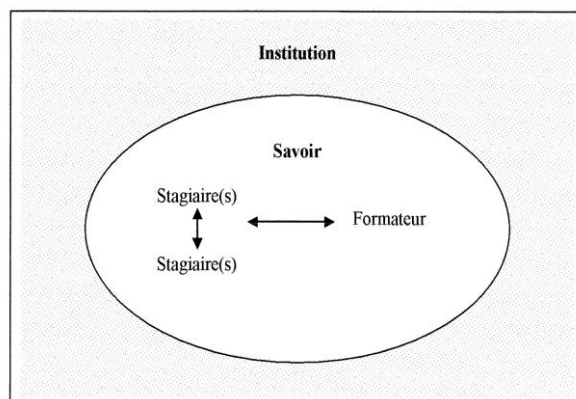


Figure 7 : Principe de conception du module de formation

Les activités de formation comportent une partie élaboration d'une séquence de classe sous une certaine contrainte (appel à un modèle d'activité de résolution de problèmes) - séquence prise en charge par les stagiaires eux-mêmes - et une partie objectivation des pratiques, l'ensemble étant décomposé en plusieurs phases.

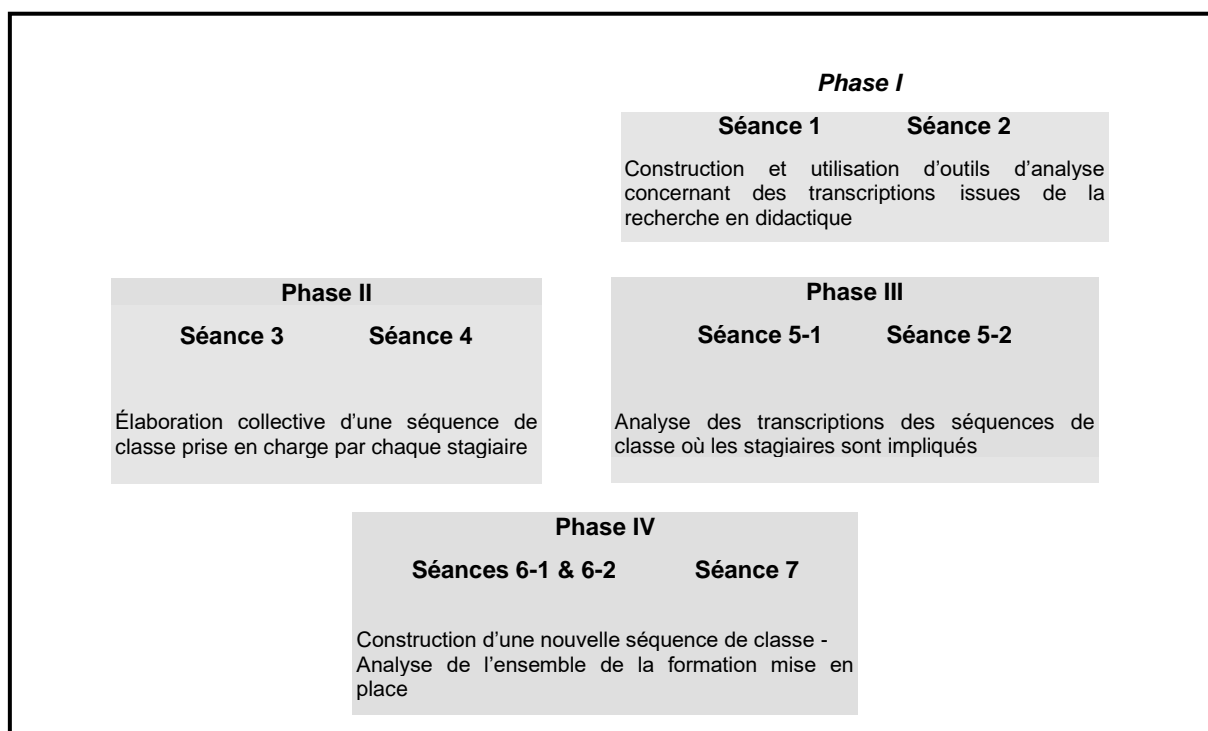


Figure 8 : Structure du dispositif de formation effectif

Au cours de la première phase de formation, les stagiaires analysent des transcriptions écrites de séquences de classe issues des travaux sur la résolution de problèmes de physique (Dumas-Carré, 1994). Cette analyse donne lieu à l'utilisation d'outils d'analyse des pratiques enseignantes issus des travaux du groupe « Médiation » (Weil-Barais & Dumas-Carré, 1995). Au cours de la deuxième phase, les stagiaires élaborent collectivement une séquence de classe présentant les caractéristiques nécessaires pour favoriser la construction des connaissances par les élèves. La séquence est ensuite mise en œuvre par chaque stagiaire dans sa propre classe. Le choix de l'activité de résolution de problème

ouvert de physique est fait pour amener les stagiaires à découvrir les moments de tutelle et de médiation. Dans la troisième phase, les stagiaires sont invités à analyser les transcriptions de leurs séquences de classe, individuellement puis en groupe, les axes d'analyse et les descripteurs étant laissés libres. La quatrième phase est une phase de construction d'une nouvelle séquence s'appuyant sur les mêmes activités.

La plupart des séances de travail ont lieu sous forme d'atelier, chaque séance étant préparée individuellement par les stagiaires. Le recours aux transcriptions des séquences de classe a été imposé aux stagiaires (chacun étant responsable de sa propre transcription) pour éviter des discours sur des impressions pendant les séances de formation et pour faciliter le passage à l'analyse par une première prise de contact avec « soi ». Le rôle du formateur (qui est aussi le chercheur) est d'inciter les stagiaires à s'exprimer, de faciliter les échanges, de les écouter, de reformuler, de proposer des outils conceptuels, d'amener le groupe à construire ensemble une compréhension mutuelle, et non pas de leur dire ce qu'ils doivent faire, et comment ils doivent le faire.

Le corpus ainsi constitué comprend les différentes transcriptions audio des séances de formation et les documents distribués aux stagiaires par le formateur ou élaborés par ces derniers. Il faut aussi ajouter les mémoires professionnels présentés et soutenus par les stagiaires dans le cadre de leur formation en IUFM.

5.1.3 Méthodologie

L'analyse, a posteriori, de la prise en main par les stagiaires du modèle d'activité de résolution de problèmes ouverts de physique a été présentée au chapitre trois. Elle apporte des informations sur les difficultés et les réussites rencontrées par les jeunes enseignants à l'occasion de la mise en place du modèle dans leur classe. Ce paragraphe est consacré aux aspects méthodologiques centrés sur l'analyse des outils d'objectivation des pratiques qui ont fait l'objet de deux publications complémentaires (Boilevin & Dumas-Carré, 2001b; Boilevin, 2007b).

5.1.3.1 Méthodologie générale

Il s'agit d'une part, de rechercher les outils de description utilisés spontanément par les stagiaires dans les séances de formation et, d'autre part, d'analyser la façon dont les outils de description issus de la recherche et proposés par le formateur sont adaptés ou adoptés. La conception de la communication adoptée conduit à analyser les interactions au sein du groupe (les quatre stagiaires et le formateur) pendant les séances de formation. L'analyse est centrée sur ce qui est construit par le groupe et cela commande les unités d'analyse : des blocs plus ou moins étendus et non pas des interventions indépendantes et attribuées à l'un des acteurs. Nous procédons tout d'abord à une analyse lexicale. En effet, l'usage des mots est un révélateur de quelque chose ; les changements de mots montrent un changement d'orientation. Ensuite nous étudions la conceptualisation, c'est à dire que nous recherchons la signification des mots pour le groupe, des liens entre les concepts pour mettre en évidence des significations partagées, signe de construction de connaissances.

5.1.3.2 Analyse lexicale

Nous procédons à un repérage et à une catégorisation des mots et de leurs substituts, concernant notre champ conceptuel, les plus souvent utilisés dans les transcriptions des séances de formation. Nous obtenons ainsi le champ lexical concernant les thèmes de la formation. Le passage par l'élaboration du champ lexical, travail empirique de repérage et de comptage, nous permet de montrer que le vocabulaire concernant les thèmes étudiés n'est pas très varié et de restreindre ainsi l'étude de la conceptualisation aux quelques descripteurs les plus utilisés.

5.1.3.3 Analyse de la conceptualisation : construction de réseaux conceptuels

Il s'agit de rechercher la signification des descripteurs partagée par le groupe et d'identifier les liens éventuels existant entre ces mots. Le choix des descripteurs retenus dans le champ lexical a lieu à partir de critères précis : le descripteur retenu doit traverser un maximum de séances de formation ; il doit être en rapport avec le thème de la formation mise en place ; le « poids » par rapport aux autres mots du champ lexical doit être important. Par exemple, à partir de ces critères, nous avons retenu conflit, malentendu, médiation et tutelle.

L'analyse de la conceptualisation repose sur la construction de réseaux conceptuels. La constitution des réseaux s'appuie sur un découpage thématique (ou chronique thématique) des transcriptions « lissées »⁴⁹ pour obtenir le corpus, sur un repérage des descripteurs, sur la fabrication de réseaux intermédiaires par épisode (autour de l'objet en transaction sur l'initiative du formateur ou des stagiaires) et sur la fabrication d'un réseau global avec repérage des liaisons fortes et faibles pour résumer l'essentiel du processus.

5.1.4 Résultats

Les résultats présentés ici concernent l'objectivation de leurs propres pratiques par les enseignants après l'analyse de la première et de la seconde séance de classe mise en œuvre par l'un d'entre eux.

5.1.4.1 Après l'analyse de la première séance de classe

L'étude des réseaux intermédiaires «stagiaires» met en évidence les préoccupations des jeunes enseignants qui apparaissent centrées autour de six catégories principales : définition du concept, condition d'apparition, utilité pour l'enseignant, utilisation à des fins d'apprentissage, fonctionnement en classe, mise en contexte. Cette catégorisation permet de dégager les grandes lignes de l'objectivation des pratiques par le groupe des jeunes enseignants. Celle-ci apparaît centrée sur le côté pragmatique. Les aspects «fonctionnement» et «condition» sont le plus souvent mis en avant. En fait, les stagiaires construisent des outils fonctionnels et les aspects théoriques sont peu explicites.

A la lecture des définitions de la médiation et de la tutelle construites par le groupe, il semblerait que les stagiaires soient sensibilisés, après analyse de leur pratique, au concept de signification partagée que l'on retrouve dans l'interactionnisme social et qu'un changement de point de vue sur la communication soit amorcé. De plus, la présence presque constante du descripteur «questionnement des élèves» dans les réseaux conceptuels dénote une sensibilisation au rôle du langage dans l'apprentissage des sciences et à la nécessité pour le professeur de questionner l'élève afin de l'amener à préciser le sens des mots qu'il utilise, à en partager les significations et à construire ainsi des connaissances dans les interactions. La présence de ce descripteur peut aussi s'interpréter comme un changement de point de vue épistémologique. En effet, l'attention portée par les jeunes enseignants au «questionnement des élèves» pour faire exprimer le point de vue de ces derniers pendant la résolution du problème est à rapprocher de l'idée actuellement retenue par les épistémologues sur l'objectivité scientifique. Le concept d'intersubjectivité semble pris en compte implicitement par les stagiaires puisque les échanges de points de vue amènent à une validation des connaissances au sein de la communauté classe (équivalent de la communauté scientifique).

⁴⁹ Nous désignons par «transcription lissée» une transcription où les interventions verbales ont été éventuellement reformulées dans un français écrit pour faciliter la lecture, la langue parlée n'étant pas toujours exprimée dans un français académique.

5.1.4.2 *Après la préparation de la seconde séance de classe*

La dernière partie de l'étude consiste à étudier si l'analyse de leur propre pratique par les stagiaires et le recours à un modèle d'activité sont liés et dans quelle mesure. Pour différentes raisons, cette tentative est restreinte à l'étude de la conception d'une nouvelle séquence de classe. Cette étude permet de valider l'hypothèse principale de cette recherche selon laquelle l'objectivation des pratiques enseignantes permettrait de modifier celles-ci.

Pour rechercher s'il existe des liens entre l'objectivation de leurs pratiques et les modifications de celles-ci, l'étude s'appuie notamment sur le champ lexical propre à la dernière séance de formation, sur les réseaux conceptuels correspondants et sur une comparaison des documents élaborés par les stagiaires pour préparer les séquences de classe avant et après l'analyse de pratique.

Si l'on regarde de près les types d'arguments théoriques avancés pour modifier leurs documents, on s'aperçoit que la perception de la fonction du professeur par les jeunes enseignants a évolué. Il semble que l'analyse de leur propre pratique les ait sensibilisés au point de vue socioconstructiviste comme le montrent l'attention toute particulière aux concepts de conflit et de malentendu ou encore l'idée de questionnement des élèves prenant appui sur leurs connaissances supposées acquises, laissant une place prépondérante aux activités cognitives de ces derniers. Enfin, des connaissances ont été construites dans le domaine de l'épistémologie de la physique puisque de nombreux arguments, plus ou moins explicites, développés par les jeunes enseignants ont trait au concept de registre (registre empirique et registre des modèles) montrant ainsi une distinction entre le monde des objets et des phénomènes et celui des théories et des modèles.

Globalement, la formation que nous avons conçue et mise en place permet la construction de savoirs pratiques professionnels (des savoir-faire réfléchis) par les jeunes enseignants et mène à un certain changement de pratique.

5.1.5 Discussion - Conclusion

5.1.5.1 *Formation initiale*

Le groupe d'enseignants étudié dans cette recherche est constitué par de jeunes enseignants débutant juste dans la profession. Nous pouvons donc considérer qu'ils ne disposent pas encore de pratiques stables et que celles-ci sont donc plus facilement déstabilisées et modifiées que les pratiques d'enseignants plus anciens dans la profession. Par contre, ce manque de pratique peut être un obstacle dans la préparation d'une séquence de classe car ils ne connaissent pas les compétences réelles des élèves et ce qu'ils peuvent attendre de ces derniers. Ajoutons que l'institution (Université, IUFM) a laissé bien peu de place aux questions d'épistémologie et de communication dans la formation offerte aux stagiaires avant qu'ils ne participent à notre recherche. L'objectif de celle-ci n'est pas réellement un changement de pratique mais plutôt de faire construire des outils qui permettent aux jeunes enseignants d'être conscients de leurs choix, d'avoir un regard réflexif sur ce qu'ils font, d'élaborer une pratique pensée et organisée, en fait de véritables savoirs pratiques professionnels. Il n'est pas question pour nous d'être prescriptif et de leur dire ce qu'ils doivent faire et comment ils doivent le faire. Nous ne cherchons pas à remplacer intégralement un modèle d'enseignant par un autre. Il s'agit surtout de développer et de maîtriser ces rôles de tuteur et/ou médiateur, peu connus jusqu'à maintenant. Nous faisons des propositions ; pour cela, nous faisons construire des outils d'action et d'analyse par les jeunes enseignants mais nous leur laissons le choix, l'initiative et la responsabilité.

5.1.5.2 *Évolution par rapport au cadre théorique*

L'analyse de la prise en main du modèle d'activité par les jeunes enseignants après l'ensemble de la formation montre une certaine évolution chez ces derniers à propos du cadre théorique sous-jacent. A propos de la communication, l'élève est perçu comme un individu à part entière puisqu'il peut exprimer ses points de vue avec l'enseignant et avec les autres élèves au cours des interactions en classe. D'un point de vue épistémologique, la distinction est faite entre référent empirique et modèle scientifique. L'idée de pratiques sociales au sein des sciences est juste ébauchée. Les activités intellectuelles définissant la discipline physique, à côté des contenus scientifiques, sont mieux repérées par les jeunes enseignants. Par contre, le caractère révisable des modèles semble peu pris en compte. Concernant les aspects psycho-cognitifs, pour les jeunes enseignants, l'élève doit être actif (intellectuellement) et ses idées préalables doivent être prises en compte. Les échanges de points de vue entre élèves doivent être favorisés au cours des interactions en classe. Une sensibilisation au modèle socioconstructiviste est ainsi mise en évidence.

Nous avons montré au cours de notre travail que la conception des stagiaires à propos des rôles du professeur et des élèves dans l'apprentissage des sciences était modifiée à l'issue de la formation. Ce changement de conception semble s'accompagner d'un changement de pratique. La construction de savoirs pratiques professionnels, conduisant à une pratique réfléchie, confirme alors l'hypothèse principale de notre recherche. Les jeunes enseignants semblent prêts à changer « d'habitus » et à se diriger vers un type d'enseignement moins dogmatique et transmissif, permettant une meilleure construction des connaissances par leurs élèves au cours des interactions en classe.

5.1.5.3 *Résultats de notre recherche et la formation des maîtres*

Rappelons tout d'abord que notre travail est une étude de cas dépendant de diverses variables : les enseignants (volontaires) ayant participé à la formation, les rôles tenus par le formateur, les aspects conceptuels de la discipline, etc. De plus, l'accent mis sur les processus de co-construction des connaissances montre que les résultats de notre recherche ne sauraient être utilisés tels quels. Les éléments du dispositif de formation mis en œuvre ne peuvent être considérés comme des outils clé en main. Certains éléments sont particulièrement à prendre en compte pour une utilisation éventuelle en formation des maîtres :

- La nécessité de (re)construire les outils d'analyse avec le groupe de stagiaires et non de fournir simplement des outils élaborés par le formateur pour mettre en œuvre des significations partagées ;
- La nécessité de constituer et de garder une trace des pratiques de classe analysées pour d'une part « contrôler » les conceptualisations réalisées sinon la déstabilisation des conceptions initiales risque de ne mener à rien, et d'autre part, faciliter le processus de prise de conscience par les formés ;
- La nécessité de mettre en place des séances de classe possédant des caractéristiques particulières. Le modèle d'activité de résolution de problèmes de physique est à cet égard un exemple de situation permettant de mettre en œuvre des interactions didactiques de type tutelle et médiation. Selon le type de pratique que l'on veut promouvoir, le type de tâche peut être différent.

Rappelons enfin que ce type de formation ne constitue qu'une partie de la formation professionnelle des enseignants, qu'il ne vise pas à remplacer intégralement les dispositifs de formation des maîtres mais propose de diversifier les parcours de formation. Il ne peut être conçu qu'avec un petit groupe de formés : ce type de mise en situation peut se réaliser dans le cadre du mémoire professionnel en IUFM ou bien dans le cadre de l'accompagnement des jeunes enseignants en formation continue.

5.2 Formation de formateurs en didactique des sciences physiques

La question de la formation des formateurs pour permettre une diffusion des résultats de la recherche en didactique est une question importante. Dans la continuité de notre travail de thèse, nous avons conçu et mis en œuvre un tel module de formation dans le cadre de la formation continue des enseignants (Boilevin, 2005b). Le but principal du stage conçu et mis en œuvre est la construction de savoirs pratiques professionnels à propos des interactions didactiques en classe à partir d'une analyse de pratiques à la lumière de certains travaux en didactique des sciences physiques. À l'aide d'un pré-test et d'un post-test sur les représentations des participants à propos des sciences et de leur enseignement, nous évaluons la portée de ce stage. La démarche suivie nous semble innover par rapport à la pratique alors en cours en formation d'enseignants de sciences physiques en France.

5.2.1 Principe et choix du module de formation

Certaines recherches en didactique s'intéressent à l'enseignement scientifique vu par les enseignants et elles montrent en particulier des contradictions entre les conceptions enseignantes sur l'enseignement des sciences et les différentes positions épistémologiques, psychologiques et didactiques actuelles des chercheurs (Robardet & Vérin, 1998). Cette question est d'autant plus importante que les textes fondateurs des IUFM recommandent l'introduction de la didactique dans la formation des professeurs de lycée et collège et portent une attention particulière à la relation entre théorie et pratique, avec l'enjeu majeur de transformer les pratiques. De plus, en France, la population enseignante en sciences physiques est plutôt âgée au moment de cette expérimentation et elle n'a donc pas suivi la formation délivrée par les IUFM. De ce fait, ces enseignants ne possèdent pas, ou très peu, de connaissances en didactique des sciences. Les besoins en formation continue sont donc importants.

La recherche en didactique des sciences s'est interrogée sur les processus possibles de transformation des conceptions des enseignants et notamment sur les modalités de formation envisageables. La place de la didactique dans la formation des enseignants, notamment dans le cadre de la formation initiale, a déjà été abordée. Plusieurs études ont été présentées et discutées (Schneeberger & Triquet, 2001) mais, à notre connaissance, peu de travaux concernant la formation continue ont été menés jusqu'alors (Fillon, 2001). Cependant, notre travail de thèse a montré que la recherche en didactique peut apporter des outils pour analyser certaines pratiques de classe. Nous avons donc choisi de reprendre l'hypothèse selon laquelle l'objectivation des interactions didactiques par les enseignants eux-mêmes permettrait de contrôler et éventuellement de modifier celles-ci pour concevoir et mettre en place un module de formation continue. Ce module repose sur les mêmes principes que le dispositif utilisé en formation initiale.

5.2.2 Description du stage mis en place

5.2.2.1 Les objectifs

L'objectif du stage est la construction de savoirs pratiques professionnels par les enseignants formés à propos des interactions didactiques. Ces outils devraient leur permettre de caractériser certains aspects du modèle pédagogique sur lequel repose leur propre pratique et ainsi mieux la contrôler. Parmi ces aspects, la formation met l'accent sur la vision qu'ont ces enseignants du fonctionnement de la science, de son enseignement et de son apprentissage par les élèves. Deux tests devraient amener les enseignants à expliciter certains éléments de leur *modèle pédagogique initial* en début de formation (correspondant à leurs représentations) et de leur *modèle pédagogique personnel* résultant

de la formation, intégrant en partie le *modèle pédagogique de référence* qui oriente les interventions du formateur (Develay, 1992).

5.2.2.2 Le public

Les enseignants participant au stage (7 hommes, 7 femmes) ont entre 30 et 40 ans sauf un qui a 27 ans. Ils enseignent dans des établissements du secondaire. Tous ces enseignants possèdent au minimum une maîtrise (de physique-chimie pour la plupart). Enfin, cinq d'entre eux déclarent avoir suivi une formation en didactique des sciences : un grâce à la formation continue et quatre en formation initiale (essentiellement dans le cadre du mémoire professionnel).

Quelques semaines avant le début de la formation, les participants sont invités à compléter individuellement un questionnaire tiré du travail de Robardet (1995a) qui vise à étudier les représentations sociales relatives à :

- la science et son fonctionnement ;
- l'enseignement des sciences (il s'agit de savoir s'il existe une méthode d'enseignement des sciences physiques plus pertinente que les autres, à quoi servent les expériences de cours et les travaux pratiques, quelle part d'initiative laisser aux élèves dans les activités scientifiques),
- l'apprentissage des élèves en sciences physiques (qu'est-ce qu'apprendre ? comment l'élève apprend-il, raisonne-t-il, résout-il des problèmes ?)

5.2.2.3 Le module de formation

L'ensemble de la formation est décomposé en cinq séances de six heures chacune, sans compter les activités intersession (en particulier les mises en œuvre des séances de classe et les transcriptions écrites des enregistrements sonores). La plupart des séances de travail ont lieu sous forme d'ateliers. Le formateur (qui est aussi le chercheur) est le même pendant toute la durée du stage. Son rôle est d'inciter les formés à s'exprimer, de les écouter, de faciliter les échanges, de reformuler, de proposer des outils conceptuels (notamment les concepts de médiation et de tutelle), d'amener le groupe à construire une compréhension mutuelle, et non pas de dire aux enseignants ce qu'ils doivent faire, et comment ils doivent le faire. L'objectif principal du stage est présenté et commenté par le formateur : la construction de savoirs pratiques professionnels. L'organisation globale du module de formation est commentée à l'aide du schéma ci-dessous. On y retrouve les mêmes éléments que dans le module mis en place en formation initiale.

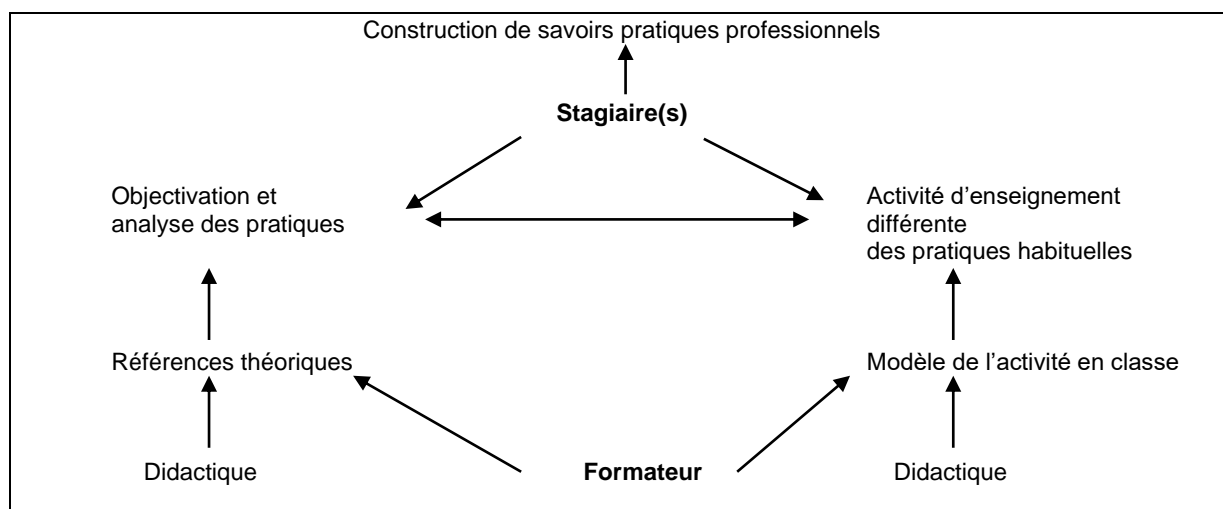


Figure 9 : Un exemple de module de formation continue d'enseignants de sciences physiques

5.2.3 Résultats

5.2.3.1 Méthodologie

Pour chacun des items du questionnaire, nous disposons de réponses codées de -2 à $+2$ suivant le degré d'accord de l'enseignant interrogé avec la proposition. Pour Robardet (1995a), l'opinion de la personne interrogée est d'autant mieux construite que celle-ci exprime des avis positifs aux items d'adhésion à une représentation sociale et négatifs aux items de rejet. Le constat d'avis négatifs à cette deuxième catégorie d'items paraît fondamental dans la mesure où cela témoigne d'une volonté de l'individu de se démarquer des opinions qui ne correspondent pas à la sienne. Robardet propose de calculer, pour chaque variable, et pour chaque individu, un indice numérique dont la valeur I sera obtenue par le calcul d'une moyenne pondérée des réponses R données aux différents items constituant la variable. Pour cela, chaque item d'adhésion se voit attribuer un coefficient $a = +1$ et chaque item de rejet le coefficient $a = -1$. L'indice I peut alors être calculé au moyen de la formule suivante : $I = \frac{\sum (a_i \cdot R_i)}{\sum |a_i|}$

On constate que I est toujours compris entre -2 et $+2$ quels que soient les nombres d'items d'adhésion et de rejet. Les variables sont regroupées suivant trois domaines (tableau 5).

Variables retenues concernant les sciences physiques	Variables retenues concernant l'enseignement des sciences physiques	Variables retenues concernant l'apprentissage en physique ou en chimie
Primat de l'observation et des faits sur les théories (OBSEPRIM)	Démarche inductiviste (INDUCTIV)	Conformation au savoir enseigné (CONFORM)
Primat de la théorie sur l'observation et les faits (THEOPRIM)	Démarche de validation (VALIDAT)	Organisation progressive et cumulative (ORGAPRO)
La science vue comme activité de découverte (DECOUV)	Démarche de résolution de problèmes (RESOPROB)	Réarrangement cognitif (REARCO)
		L'erreur comme outil productif (ERREUR-P)
		L'erreur comme dysfonctionnement (ERREUR-D)

Tableau 5 : Répartition des variables par domaine

L'analyse menée par Robardet (1995a, 1998) l'amène à modéliser les opinions des personnes interrogées par deux représentations bien distinctes construites autour des variables, les items de ces deux familles semblant s'exclure mutuellement :

- la représentation « naturaliste » de l'enseignement-apprentissage en sciences physiques (représentation sociale de type empirico-réaliste) ;
- la représentation « anti-naturaliste » de l'enseignement-apprentissage en sciences physiques (approche constructiviste des sciences et de son enseignement).

5.2.3.2 Pré-test

Le tableau 6 donne les 11 indices numériques, calculés pour les 14 réponses au questionnaire dépouillées en début de formation (chaque enseignant est repéré par un codage E1, E2, etc.). Une valeur positive de l'indice témoigne d'une opinion positive de l'enseignant interrogé pour la variable, et ce d'autant plus que sa valeur sera proche de $+2$. Inversement, une valeur négative indiquera le contraire et ce d'autant plus que la valeur sera proche de -2 .

Même s'il ne s'agit que de déclarations écrites, qui mériteraient probablement d'être éclaircies par un entretien individuel, on peut faire l'hypothèse que les résultats révèlent des

points de vue inconscients chez la majorité des enseignants interrogés puisque la pratique professionnelle les a très rarement amenés à se questionner sur ces aspects théoriques.

On peut lire la grille telle qu'elle est présentée et étudier les résultats pour un même enseignant. Par exemple, E6 semble plutôt posséder une représentation antinaturaliste puisque tous les indices sont négatifs dans la partie A et positifs dans la partie B du tableau. Ce point de vue est renforcé par les valeurs numériques des indices qui sont souvent proches de 1. A l'inverse, E10 semble posséder une représentation naturaliste puisqu'une majorité d'indices sont positifs dans la partie A et négatifs dans la partie B.

Partie A : Représentation Naturaliste															
	Réponses														
Catégorie	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	Moyenne
OBSEPRIM	0	0,75	0,75	0,375	0	-0,63	0,5	0,625	1,25	0,5	0,125	0,25	0,625	-0,88	0,34
DECOUV	-0,25	1	0,75	-0,5	-0,25	-0,5	0,75	0	0,5	0,5	-0,5	0,25	0,5	0,5	0,18
INDUCTIV	-0,5	0,667	1	0,167	0,667	-0,83	-0,33	0,167	0,5	1	-0,17	0,5	0,5	-0,17	0,18
CONFORMAT	-0,57	-0,86	-0,57	-0,43	-1	-1	-1,14	-1	0	1	-1,71	0,286	-0,57	-1,57	-0,69
ORGAPRO	-0,4	0,4	0,4	-0,2	0,2	-0,8	0,2	-0,2	0,6	1	-0,6	0,4	-0,2	-0,8	-0,04
ERREUR-D	-1,14	-1,29	-1,14	-0,71	-0,29	-1,43	-1,71	-1,57	-0,86	-0,43	-1,86	-0,57	-1,14	-2	-1,18
Partie B : Représentation Antinaturaliste															
Catégorie	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	Moyenne
THEOPRIM	-0,14	-0,29	-0,57	-0,43	0,571	1	0	-1	-1,14	-0,57	0,286	-0,71	-0,14	0,429	-0,25
VALIDAT	0,5	-0,17	-0,5	0,333	-0,33	0,833	0,333	0,333	0,167	-1,33	0,333	-0,5	-0,33	1,167	0,10
RESOPROB	0,429	-0,14	-0,29	-0,14	0	0,286	0,429	0,571	0,429	-0,57	0,571	-0,57	0,429	0,714	0,17
REARCO	0,5	0	0,25	0,25	0,125	0,875	0,75	0,875	0	-0,63	0,875	-0,25	0,375	1,5	0,43
ERREUR-P	1	1,5	1,5	1	0,333	1,333	1,833	1,5	0,833	0,5	1,833	0,5	1,167	2	1,24

Tableau 6 : Résultats du pré-test

On peut aussi lire la grille pour comparer les résultats d'ensemble en s'intéressant notamment aux valeurs moyennes des indices. On s'aperçoit alors que l'opposition binaire naturaliste/antinaturaliste ne permet pas d'interpréter globalement les conceptions des enseignants du groupe en formation. En effet, une partie seulement des indices moyens est négative dans la partie A et tous les indices moyens ne sont pas positifs dans la partie B. Cela nous amène à abandonner la caractérisation dichotomique naturaliste/antinaturaliste tout en conservant les trois domaines étudiés par ce test. Ainsi, nous pouvons dire que d'un point de vue épistémologique, le groupe montre plutôt une représentation naturaliste, accordant le primat de l'observation et des faits sur les théories (indices moyens positifs en partie A pour les catégories « OBSEPRIM » et « DECOUV » et négatifs en partie B pour la catégorie « THEOPRIM »). Le point de vue concernant l'enseignement des sciences ne semble pas totalement tranché (indices moyens positifs en partie A pour la catégorie « INDUCTIV » comme en partie B pour les catégories « VALIDAT » et « RESOPROB »). Pour certains, la démarche inductiviste est à privilégier, pour d'autres, il faut enseigner par résolution de problèmes. Par contre, il semble que l'apprentissage en physique et en chimie soit plutôt conçu de façon constructiviste (indices moyens négatifs en partie A pour les trois dernières catégories et positifs en partie B pour les deux dernières catégories). Par exemple, l'erreur est reconnue comme un outil productif et non comme un dysfonctionnement.

En fait, les références sur lesquelles reposent les pratiques pédagogiques des enseignants interrogés n'apparaissent pas tout à fait cohérentes entre elles. Ceci explique peut-être les interrogations nombreuses des enseignants avant la formation proposée.

5.2.3.3 Post-test

L'hypothèse initiale que les résultats révèlent des points de vue plus ou moins inconscients chez la majorité des enseignants interrogés est maintenue. La lecture des résultats met en évidence des changements notables de certaines de leurs représentations mais surtout une mise en cohérence des trois points de vue concernant les sciences physiques, l'enseignement des sciences physiques, l'apprentissage en physique-chimie.

Partie A : Représentation Naturaliste															
	Réponses										Ab	Ab			
Catégorie	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	Moyenne
OBSEPRIM	-0,5	-1,75	-0,63	0,25	-0,25	-0,13	-2	0,625	-1,5			0,75	0	-1,13	-0,42
DECOUV	-1,5	-1,75	-0,75	-0,75	-1	-0,75	-2	0	0,25			1	-0,75	-1,25	-0,62
INDUCTIV	-1,17	-2	0,5	-0,5	-0,67	-1,17	-2	0,167	-1,5			0,5	-0,5	-0,67	-0,60
CONFORMAT	-1,71	-1,71	0	-0,86	-1,71	-1,29	-2	-1	-1,14			0,286	-0,71	-2	-0,92
ORGAPRO	-1,4	-1,6	0,2	-0,2	-1,2	-1,2	-2	-0,2	-1,2			0,2	0,2	-1,2	-0,64
ERREUR-D	-1,86	-2	-1	-0,86	-2	-1,43	-2	-1,57	-1,57			-0,57	-1,57	-2	-1,23
Partie B : Représentation Antinaturaliste															
Catégorie	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	Moyenne
THEOPRIM	0,429	1,714	0,571	-0,43	1,143	0,571	2	-1	1,429			-0,57	0,286	1	0,48
VALIDAT	1,167	2	0	0,833	1,333	1,167	2	0,333	1,667			-0,5	0,833	1,333	0,81
RESOPROB	1,429	1,714	0,143	0,143	-0,29	0,857	2	0,571	1,714			0	0,714	0,857	0,66
REARCO	1,75	1,625	0	0,375	1,5	0,875	2	0,875	1,125			-0,13	0,25	1,25	0,77
ERREUR-P	1,833	2	1	1,167	2	1,333	2	1,5	1,5			0,333	1,5	2	1,21

Tableau 7 : Résultats du post-test

Pour analyser les résultats, nous repérons pour un même enseignant et par domaine d'étude les réponses toutes négatives en partie A et toutes positives en partie B. Ainsi, sept enseignants sur douze (contre aucun avant le stage) présentent des représentations plus conformes à l'épistémologie contemporaine (catégories « OBSEPRIM » et « DECOUV » en partie A et catégorie « THEOPRIM » pour la partie B). La formation aurait ainsi permis de modifier leur vision des relations entre observation et théorie scientifique ainsi que leur conception de l'activité scientifique. Huit enseignants sur douze (cinq sur quatorze avant le stage) présentent des conceptions compatibles avec une vision constructiviste de l'enseignement de la physique-chimie (catégorie « INDUCTIV » en partie A et catégories « VALIDAT » et « RESOPROB » en partie B). Concernant le point de vue sur l'apprentissage en physique et en chimie, les trois quarts des participants présentent des conceptions constructivistes à l'issue du stage alors qu'ils étaient un sur deux en début de formation (catégories « CONFORMAT », « ORGAPRO » et « ERREUR-D » en partie A et catégories « REARCO » et « ERREUR-P » en partie B).

Le stage suivi par le groupe a amené à questionner la pratique professionnelle sur certains aspects théoriques mais nous pensons que ces derniers sont simplement en cours

d'appropriation. Les résultats traduisent ainsi des changements de points de vue ou des références plus conscientes chez les participants. Pour une grande partie du groupe le *modèle pédagogique personnel* résultant de la formation semble ainsi proche du *modèle pédagogique de référence* du formateur.

5.2.4 Conclusion

Au-delà des résultats tirés du dépouillement des questionnaires, la mise en place de ce module de formation a mis en évidence un certain nombre de difficultés et d'obstacles.

Les enseignants résistent à changer leur façon d'enseigner pour s'aventurer dans des modèles didactiques nouveaux et incertains. Ils doutent de leur capacité à gérer des situations interactives et hésitent à partager le pouvoir et le savoir avec les élèves⁵⁰. Les difficultés de préparation de la séquence de classe en sont une illustration. Mais il semble que l'analyse des séquences réellement mises en place ait amené les enseignants à questionner leurs points de vue sur la pratique de la physique et sur l'apprentissage des sciences physiques. La formation les a ainsi rassurés sur les possibilités de modification des pratiques, notamment en prenant du recul par rapport à celles-ci, grâce aux outils théoriques fournis par certaines recherches en didactique.

Un autre élément d'évaluation de la portée de ce stage de formation continue est le devenir de ce vivier éventuel de formateurs. A l'issue du stage, dix enseignants déclarent accepter de participer en tant que formateurs à la formation initiale et huit à la formation continue.

Ce compte rendu d'innovation apporte quelques éléments de réponse à la question de la transposition des résultats de recherche en didactique et à la diffusion en formation continue. Mais l'essentiel de l'analyse du module présenté repose sur l'étude des déclarations écrites des participants. Celles-ci mériteraient probablement d'être éclaircies par des entretiens individuels ou par une étude de la pratique réelle de chaque stagiaire. Il y a là un objet de recherche notamment sur les mécanismes à l'œuvre et les conditions pour que ce type de dispositif de formation contribue à l'évolution des conceptions épistémologiques et psychologiques des enseignants.

5.3 Discussion – Bilan

Les deux études que nous venons de présenter constituent en fait deux exemples de transposition des résultats de la recherche en didactique dans la formation des maîtres, au même titre que le travail de Fillon (2001). Le cadre de la transposition didactique élargie tel que nous l'avons présenté au chapitre 2, permet en effet de lire différemment les situations : du choix des savoirs de référence issus de la recherche par le formateur à la construction d'un module de formation en passant par le repérage et l'analyse des « savoirs » enseignés par le formateur jusqu'aux « savoirs » appris par les professeurs stagiaires. De ce point de vue, notre travail de thèse donne des indications sur les transformations subies par les outils conceptuels issus des résultats des recherches didactiques quand ils sont repris en formation.

Ces deux études s'insèrent également dans un cadre plus vaste. Les recherches en éducation développent en effet des travaux sur la pratique professionnelle des enseignants et notamment sur les pratiques en classe. Par exemple, Porlan et Rivero (2001) distingue, à partir d'une analyse épistémologique, le savoir professionnel dominant (qui existe majoritairement) du savoir professionnel souhaitable. Ce dernier s'appuie sur des « savoirs disciplinaires » (où les didactiques spécifiques jouent un rôle important), des « savoirs

⁵⁰ Nous faisons ici référence aux travaux de Lesne (1977) et de Goffard (1990) concernant le rapport au savoir et les modes d'exercices du pouvoir dans les modèles pédagogiques des enseignants.

métadisciplinaires » (champs du savoir étudiant les disciplines et les connaissances en général) et « l'expérience professionnelle », vue comme la concrétisation du savoir professionnel dans le savoir curriculaire, résultat de la mise à l'épreuve empirique d'idées et de techniques. Les approches peuvent être centrées sur un domaine particulier (psychologie, didactique, etc.) ou conduites au sein de réseaux pluridisciplinaires comme OPEN (Observatoire des Pratiques Enseignantes, Bacconnier, 2006) et passent souvent par une analyse des déterminants de la pratique enseignante qui s'avère complexe (Vinatier & Altet, 2008). Mais pour Lenoir et Vanhulle (2006), il s'agit de développer une théorie de la pratique enseignante confrontant la perspective descriptive et compréhensive du chercheur et la perspective applicationniste du formateur ou de l'enseignant.

Certains de ces travaux tentent de repérer des liens éventuels entre les pratiques enseignantes et les effets sur les élèves en termes d'apprentissage ou de performances scolaires. C'est le cas de la didactique des sciences qui étudie les pratiques effectives des enseignants (Venturini, Amade-Escot & Terrisse, 2002) et qui aborde aussi les effets de l'enseignement sur les apprentissages des élèves (Mercier & Buty, 2004). Mais Morge, Toczek et Chakroun (2010) avancent que le mode de validation de ce type de recherche est le plus souvent incomplet car il ne prend pas vraiment en compte les effets sur les apprentissages des élèves. Ces auteurs ajoutent que des recherches de ce type sont très difficiles à repérer dans la littérature. Pourtant, les résultats de leur propre étude (évaluation d'une formation d'enseignants de physique pour s'appuyer sur les explications des élèves au cours des interactions en classe) sont encourageants et incitent à mettre en œuvre de tels dispositifs de validation de la formation à travers les effets sur les apprentissages des élèves.

Dans une revue de questions autour de l'apprentissage du métier d'enseignant, Feyfant (2010) aborde la place de la recherche et des approches théoriques dans la formation. Elle présente les résultats de plusieurs enquêtes auprès d'étudiants en formation à l'enseignement dans différents pays. Ces résultats traduisent « *les mêmes inquiétudes des enseignants face aux élèves et à la classe, en lien avec leur développement personnel. Ce qui achoppe, dans la plupart des pays étudiés, c'est la non-reconnaissance de liens entre développement personnel, développement professionnel et pédagogie* » (Feyfant, 2010, p. 5). Ce manque de liaison, comme le note Feyfant, est difficile à comprendre et interroge les recherches en éducation. La dualité théorie-pratique est bien souvent au centre de ces interrogations. Certains chercheurs questionnent les différents types de savoir en jeu. Par exemple, Altet (2009) distingue, d'une part, les « savoirs à enseigner » et les « savoirs pour enseigner » (didactique, pédagogie) produits par la recherche, et d'autre part, les « savoirs sur l'enseigner » (formalisation de la pratique) et les « savoirs de la pratique » (savoirs d'expérience théorisés ou explicites) produits par les enseignants. De son côté, Morge (2009) évoque l'intérêt du concept de PCK pour les recherches en didactique car il permet de postuler l'existence de connaissances professionnelles qui seraient dépendantes des contenus disciplinaires enseignés et pas uniquement de la discipline scolaire enseignée. Cet auteur avance que les connaissances professionnelles didactiques (PCK) dépendent du contenu enseigné mais également de la séance de classe mettant en jeu ce contenu disciplinaire. Il qualifie alors ces connaissances de connaissances professionnelles didactiques locales (Morge, 2008).

Ces types de recherche offrent un intérêt scientifique et répondent à une certaine demande sociale d'efficacité de l'école. Mais ces travaux conduisent aussi à mettre l'accent sur la formation des enseignants (Paquay, Altet, Charlier & Perrenoud, 1998; Paquay, Altet, Perrenoud & Lessard, 2008). Notre étude sur la formation initiale d'enseignants de physique-chimie s'insère ainsi dans un courant actuel s'appuyant sur l'élaboration de savoirs professionnels. Même si les cadres théoriques sont parfois différents, l'hypothèse selon laquelle la transformation des pratiques passe par l'objectivation des interactions éducatives par les enseignants est souvent reprise. Les effets de la formation sont analysés en comparant les préparations de séances de classe avant et après la formation et ils mettent le

plus souvent en évidence des évolutions des idées des enseignants sur les sciences et sur les processus d'enseignement-apprentissage. Il semble aussi que l'implication des formés dans leur propre analyse des pratiques, comme nous l'avons mise en œuvre, soit parfois envisagée. « *Cet ensemble de travaux met donc l'accent, d'une part, sur l'importance des compétences des enseignants dans leur discipline, leur expérience personnelle des démarches qu'ils auront à enseigner, d'autre part sur leur caractère non suffisant. Ils mettent en évidence la nécessité de constituer des ressources pédagogiques adaptées à l'enseignement de telle ou telle question, ressources s'appuyant sur des théories pédagogiques générales, mais prenant également en compte les spécificités des apprentissages visés, les difficultés d'apprentissage repérées, les contraintes liées au contexte de l'enseignement* » (Méheut, 2006, p. 69).

Il nous semble que ces différentes entrées théoriques permettent d'approfondir l'idée de savoir pratique professionnel, introduite par Porlan, et que nous avons utilisée dans nos propres travaux. Mais la question essentielle, quel que soit le cadre théorique adopté, concerne la valorisation des résultats de ces recherches. Nous partageons le point de vue de Feyfant (2010, p. 6) : « *ça marche mais est-ce reproductible ?* ». On peut se demander en effet si les recherches contextualisées peuvent produire du générique sur la pratique enseignante en général (Vinatier & Altet, 2008).

Ajoutons que la démarche de recherche et la démarche de formation obéissent à des logiques différentes : logique de production de savoirs (partant d'une problématique et exigeant notamment des méthodologies et une communication des résultats) pour la première, logique d'adaptation de ces savoirs à une situation professionnelle pour la seconde. Ces deux logiques peuvent être articulées et amener à faire de la recherche pour la formation, en partant par exemple de problèmes de praticiens. Dans les dispositifs de formation classiques à propos des situations d'enseignement-apprentissage, le formateur présente les acquis de la recherche pour permettre l'appropriation par les formés (phase de recontextualisation) dans des situations bien choisies. Les formés ne sont pas directement en contact avec le chercheur. Le formateur sert d'intermédiaire et son filtrage risque de provoquer une perte de sens de la décontextualisation effectuée par le chercheur. Dans notre cas, il s'agit d'un genre de recherche-action (que certains auteurs dénomment recherche-formation ou recherche-action-formation) que nous pourrions qualifier de recherche impliquée car le chercheur est aussi le formateur et membre du groupe. Cependant, plusieurs questions se posent quant à la place des résultats des recherches, du chercheur-formateur et des formés.

Notre étude en formation initiale montre que des acquis de la recherche partiels et intermédiaires peuvent être utilisés en formation des maîtres et conduire à des résultats intéressants. La difficulté de poursuivre deux objectifs différents (produire des connaissances et former) n'est-elle pas trop grande dans ce type de recherche-action ? Il s'agit de maintenir un équilibre pour obtenir un enrichissement mutuel de ces deux pôles. Les jeunes enseignants étaient informés de l'objectif de la recherche et leur degré d'implication était précisé. Mais la relation entre les stagiaires et le chercheur-formateur était inégale du fait de la situation de formation elle-même et que les résultats de la recherche appartiennent au chercheur. Par contre, le travail d'analyse de pratique a permis aux jeunes enseignants une prise de conscience par rapport à leur propre pratique et la construction de connaissances professionnelles.

Mais il ne s'agit pas d'une formation par la recherche puisque les stagiaires ne sont pas des chercheurs. Par contre, ce type de travail les amène au contact direct des produits de la recherche. De même, la rédaction d'un mémoire professionnel permet une première initiation à la recherche par la pratique du questionnement, de la problématisation et surtout l'apprentissage de la prise de distance par rapport à sa propre pratique, notamment par une réflexion didactique et épistémologique.

Les apports de notre recherche permettent de proposer :

- une analyse de la prise en main d'un modèle de séance didactique favorisant les pratiques interactives de type médiation ;
- une explicitation d'outils d'analyse des échanges en classe ;
- une (re)élaboration d'un modèle d'accompagnement des maîtres en formation pour les aider à prendre conscience, à décrire et à discuter de leurs pratiques pour les faire évoluer vers des pratiques plus interactives, orientées vers la médiation.

Il nous semble que notre travail est un exemple de recherche qui pourrait être menée au sein des IUFM pour produire des savoirs liés au travail enseignant en situation professionnelle de façon à objectiver la fonction enseignante et les compétences afférentes et ainsi mieux outiller intellectuellement les enseignants pour leur permettre de faire des choix.

De plus, au moment où se met en place en France la réforme dite de la maîtrise de la formation des maîtres, les apports de nos travaux peuvent indiquer des pistes à suivre pour mettre en place les nouvelles formations. On y retrouve en effet certaines orientations préconisées dans la synthèse des États généraux de la formation des enseignants⁵¹ et repérées par Feyfant (2010, p. 4) : « *la formation imaginée par les différents acteurs ... doit être une formation à un métier, articulant savoirs théoriques, savoirs académiques des disciplines et savoirs d'exercice du métier. Les savoirs théoriques doivent toujours être en lien avec la pratique, s'adaptant aux circonstances et aux niveaux d'enseignement, donnant des points de repères pour que le futur enseignant réfléchisse sur sa pratique, puisse changer et faire évoluer ses compétences* ».

⁵¹ Ces États généraux de la formation des enseignants ont été organisés par la Conférence des directeurs d'IUFM et les conférences des directeurs des UFR littéraires et scientifiques en 2009.

Partie 2

Émergence de nouveaux champs de recherche en didactique des sciences

La première partie de cette note de synthèse nous a permis d'aborder quelques apports de la didactique des sciences à certaines interrogations concernant l'enseignement des sciences physiques. Nous avons ainsi exploré, à travers nos propres travaux de recherche, les questions des finalités de l'enseignement des sciences et des activités possibles permettant l'apprentissage des sciences physiques en classe. Nous avons également abordé les recherches sur les interactions didactiques en classe de sciences physiques ainsi que les relations entre didactique des sciences et formation des enseignants. Cependant, notre expérience de formateur d'enseignants nous a fait sentir les limites de ces approches en constatant combien les enseignants étaient parfois désemparés devant les injonctions institutionnelles ou les propositions issues des recherches en didactique. Nous nous sommes alors demandé si tout était réductible à des questions internes à l'enseignement ou si des questions externes (sociales, politiques, idéologiques, etc.) n'étaient pas à l'œuvre. Notre posture de chercheur en didactique a ainsi évolué et il nous a semblé intéressant de regarder pourquoi, dans le monde entier, les études scientifiques semblent peu attrayantes.

Depuis quelques années en effet, un important débat de société a lieu à propos de l'enseignement des sciences et de la technologie. Le développement de ces disciplines dans l'enseignement général et/ou technique est un élément essentiel pour le développement d'une culture scientifique et technologique largement partagée. Au-delà de la portée d'éducation du citoyen, un tel développement constitue un enjeu décisif afin de développer l'accès aux études scientifiques et technologiques qui connaissent une désaffection importante depuis quelques années dans de nombreux pays développés. Les professions scientifiques et technologiques séduisent moins et ce type de carrières apparaît moins attractif. On parle alors de la désaffection des sciences ou de la désaffection pour les études scientifiques par les lycéens et surtout les étudiants. Que cachent réellement ces expressions ? Décrivent-elles une réalité objective ou bien la situation est-elle plus complexe qu'il n'y paraît au premier abord ? Quelles sont les raisons de ce phénomène et les solutions envisagées ? Du côté de l'institution, de nombreux rapports ont été publiés et plusieurs colloques internationaux se sont penchés sur « la crise mondiale des sciences ». Mais la recherche en éducation a elle aussi étudié la question. Le chapitre 6 présente et analyse les contenus de ces rapports ainsi que certaines des recherches menées sur le sujet, en insistant particulièrement sur le cas de l'enseignement de la physique-chimie. Il nous permet de proposer une synthèse des constats, des raisons avancées et des recommandations formulées pour lutter contre le phénomène de désaffection pour les études scientifiques.

Parmi les facteurs pédagogiques et didactiques invoqués pour expliquer la désaffection des jeunes pour les études scientifiques, on trouve l'image de la science véhiculée par l'enseignement scolaire peu enthousiasmante ou encore des programmes peu ancrés sur la vie quotidienne et des méthodes pédagogiques trop académiques et rigides. Le problème de l'intérêt des élèves pour les sciences à l'école se pose alors à travers notamment les questions de la motivation et des attitudes envers les sciences. Ces questions sont étudiées dans le chapitre 7.

Parmi les facteurs principaux favorisant une attitude positive des élèves envers l'enseignement des sciences, figurent la nature du curriculum et l'environnement scolaire. Nous avons déjà abordé la question des orientations actuelles des curricula dans le chapitre 3 et nous avons aussi présenté les résultats des recherches didactiques concernant certaines démarches d'enseignement (activité expérimentale, activité de modélisation,

activité de résolution de problème). Mais il reste à trouver des dispositifs didactiques permettant de favoriser une attitude positive des élèves envers l'enseignement des sciences et de modifier le rapport des élèves à l'enseignement scientifique comme l'envisagent de nombreuses recommandations institutionnelles. Parmi les nouvelles démarches d'enseignement préconisées en France, figurent en particulier la démarche d'investigation et l'enseignement intégré de science et technologie qui semblent des candidats potentiels. Le premier type de dispositif nécessite une modification profonde de la relation didactique en repensant la place des élèves et celle de l'enseignant. Les travaux de recherche sur ce thème, qui correspondent aux orientations actuelles de nos propres travaux, sont présentés et discutés au chapitre 8.

6 Désaffection pour les sciences ? Désaffection pour les études scientifiques ?

Depuis quelques années, un important débat de société a lieu à propos de l'enseignement des sciences. En effet, dans de nombreux pays développés, les effectifs étudiants sont en régression dans les domaines scientifiques. Cette baisse préoccupante risquerait, d'une part de mettre en danger le renouvellement des cadres scientifiques et techniques et, d'autre part de creuser le fossé entre le grand public et les experts. On parle alors de la désaffection des sciences ou de la désaffection pour les études scientifiques par les lycéens et surtout les étudiants. Que cachent réellement ces expressions ? Décrivent-elles une réalité objective ou bien la situation est-elle plus complexe qu'il n'y paraît au premier abord. Quelles sont les raisons de ce phénomène et les solutions envisagées ?

Du côté de l'institution, de nombreux rapports ont été publiés en France et au niveau international. Mais la recherche en éducation a elle aussi étudié la question. Nous évoquons ci-dessous les contenus de ces rapports et nous présentons certaines des recherches menées sur le sujet, en insistant particulièrement sur l'enseignement de la physique-chimie. Nous présentons enfin une synthèse de la question pour identifier des champs de recherche possibles en didactique des sciences.

6.1 Rapports et enquêtes d'origine institutionnelle sur les sciences et les études scientifiques

La majorité des rapports ou des enquêtes d'origine institutionnelle sur les sciences et les études scientifiques procèdent le plus souvent par des entretiens ou par des questionnaires mais, la plupart du temps, ils ne prétendent pas suivre une méthodologie scientifique. Cependant, certains rapports citent explicitement des travaux de recherche pour étayer leur argumentation et leurs propositions. On voit par là que proposer une classification permettant de distinguer entre rapports et enquêtes d'origine institutionnelle ou rapports de recherche n'est pas chose aisée. En effet, cette classification peut être reliée à l'origine de l'instigateur de la commande du travail ou bien au type de revue dans lequel a lieu la publication. Mais on peut aussi considérer la situation institutionnelle des rédacteurs. Or, un chercheur peut rédiger un texte d'opinion et un inspecteur peut s'appuyer sur une méthodologie scientifique.

Dans ce chapitre, nous avons fait le choix de classer les rapports et les enquêtes dans la catégorie institutionnelle en considérant l'origine des instigateurs allant des décideurs politiques (par ex. Commission européenne, ministères de l'éducation) à des associations ou des fondations influençant les décisions ministérielles (Académie des sciences en France par exemple). Si l'origine de ces rapports est variée, il en est de même concernant les auteurs. Ils peuvent en effet appartenir au monde politique, aux ministères, au monde de la recherche ou parfois de l'enseignement. Quant au public visé par ces rapports, il s'agit essentiellement des décideurs politiques et institutionnels mais il peut aussi s'agir des chercheurs, des universitaires et des enseignants, voire des parents d'élèves mais apparemment jamais des étudiants ou des élèves, qui sont pourtant les premiers intéressés.

6.1.1 Les rapports internationaux

La « crise mondiale des sciences » a donné lieu à de nombreuses enquêtes et à de multiples rapports ainsi qu'à plusieurs colloques internationaux.

6.1.1.1 L'OCDE

Au cours du Forum mondial de la science (O.C.D.E.) de 2003, un groupe de travail a été mis en place pour étudier le désintérêt des jeunes pour les études scientifiques et technologiques. Les objectifs étaient de déterminer si un recul réel pouvait être mesuré, d'étudier les causes de ce phénomène et de proposer des solutions. Dix-neuf pays ont fourni des éléments au groupe d'étude qui a présenté les résultats et ses recommandations au cours d'une conférence internationale à Amsterdam (OCDE, 2005) et dans un rapport (OCDE, 2006a). Ce document est organisé autour de quatre thèmes :

- évolution quantitative des choix d'étude en sciences et technologie (S&T) : « *Ces dernières années, le nombre d'étudiants en S&T a augmenté en valeur absolue mais a diminué en valeur relative. ... Les tendances sont particulièrement inquiétantes dans certaines disciplines comme les mathématiques ou les sciences physiques.* » Le rapport recommande aux pays de l'OCDE « *d'étudier en profondeur les répercussions que pourrait avoir l'évolution actuelle des effectifs d'étudiants, afin d'analyser l'évolution de l'offre et de la demande compte tenu de la stabilisation escomptée des effectifs dans le supérieur et de la transition à une économie faisant davantage appel à la technologie* » ;
- limites de l'analyse quantitative : « *les statistiques existantes ne permettent pas de mesurer et d'analyser parfaitement le degré d'intérêt des étudiants* ». Les informations fournies au groupe de travail ne sont pas harmonisées et peuvent donc conduire à des interprétations contradictoires. « *En outre, les données relatives aux effectifs d'étudiants ne reflètent pas nécessairement l'intérêt réel de ces derniers pour les disciplines S&T, dans la mesure où d'autres facteurs influent également sur les effectifs inscrits.* » Le rapport propose « *d'intensifier les études à long terme sur la motivation des étudiants, basées sur l'utilisation d'indicateurs particuliers* » ;
- les femmes sont encore notablement sous-représentées dans les études de S&T : les choix de disciplines « *peuvent être liés aux pressions négatives et attentes extérieures auxquelles les étudiantes sont confrontées. Des stéréotypes persistants pèsent lourdement sur le choix des étudiantes tout au long de leur formation (phénomène qui peut également toucher les étudiants issus de minorités).* » Le rapport recommande aux pouvoirs publics de « *favoriser l'égalité des chances et de prendre des mesures pour vaincre les stéréotypes négatifs* » ;
- les choix des étudiants sont pour l'essentiel déterminés par l'image qu'ils ont des professions dans les S&T, par le contenu des cursus dans ces disciplines et par la qualité de l'enseignement : l'image des scientifiques demeure positive mais les professions des domaines de S&T séduisent moins. « *Le contenu des cursus et les programmes jouent un rôle important en éveillant et en maintenant l'intérêt des jeunes pour les S&T. Les contacts positifs avec les sciences et les technologies à un âge précoce peuvent avoir une incidence durable. Les expériences négatives à l'école, dues à des contenus d'enseignement inintéressants ou à une mauvaise pédagogie, sont souvent très préjudiciables pour les choix futurs. En outre, l'organisation des programmes scolaires peut également jouer un rôle important en empêchant les élèves de suivre leurs inclinations naturelles.* » Le rapport recommande de réformer l'enseignement des S&T ainsi que les programmes qui devraient être plus attrayants avec des contenus actualisés. De plus, la formation et la certification des enseignants exigent de l'attention. Il faudrait que les pouvoirs publics allouent des ressources adéquates à la formation des enseignants et aux activités pratiques.

Un rapport plus récent (OCDE, 2008) reprend la même thématique. Les résultats de cette étude montrent que le nombre absolu d'étudiants en S&T a augmenté parallèlement à un meilleur accès à l'enseignement supérieur dans les pays de l'OCDE. Cependant, la part relative d'étudiants en S&T par rapport à la population totale d'étudiants a diminué. De

même, la proportion de filles demeure toujours assez faible. Pour encourager l'intérêt des jeunes pour les études en S&T, le rapport suggère différentes actions à l'intérieur et à l'extérieur du système éducatif concernant la formation des enseignants, leur qualification et leur développement professionnel, la réforme des cursus scientifiques et des programmes, l'amélioration de l'image et de la connaissance des carrières scientifiques.

6.1.1.2 L'Union européenne

Depuis une dizaine d'années, l'Union européenne tente d'adapter les différents systèmes éducatifs et de formation à « la société de la connaissance » et à « l'économie de la connaissance » en définissant des objectifs à atteindre par les États membres d'ici 2010 (stratégie de Lisbonne). Un certain nombre de ces orientations concernent particulièrement l'éducation scientifique et technologique : pourcentage d'étudiants diplômés en mathématiques, sciences et technologie dans l'Union européenne ; place des femmes dans les études et les carrières scientifiques. C'est dans ce contexte qu'est mis en place un groupe de travail par la Commission européenne : Working group « Increasing participation in maths, sciences and technology ».

Le premier rapport de ce groupe de travail (2003) définit le champ de l'étude (mathématiques, sciences et technologie : MST) en distinguant notamment science et technologie. Pour les auteurs, le premier terme désigne les sciences naturelles alors que le second se rapproche de l'ingénierie. La diminution de l'intérêt des jeunes pour les disciplines scolaires MST n'est pas étudiée dans ce rapport mais considérée comme un phénomène avéré dans de nombreux pays. L'essentiel du document est consacré à l'analyse d'une série de bonnes pratiques concernant les MST provenant de différents pays européens. La plupart des initiatives éducatives présentées sont en fait en cours d'évaluation et les auteurs du rapport s'accordent sur l'impossibilité de conclure pour le moment sur leur efficacité à long terme. De plus, ce type d'évaluation est un processus complexe où il s'avère difficile de distinguer l'influence des différents facteurs (par ex. caractéristiques des élèves, des enseignants, les interactions en classe).

Cependant, les auteurs présentent quelques principes permettant d'identifier des initiatives réussies en prenant appui sur les recherches actuelles en éducation. Ainsi, les élèves doivent être impliqués dans leur apprentissage, ce que permettent par exemple les activités expérimentales de type « hands-on » et le travail en laboratoire. De même, le recours à des tâches de haut niveau comme la résolution de problème, l'émission et le test d'hypothèses, l'analyse et la synthèse apparaissent comme de bonnes pratiques. L'apprentissage doit aussi s'appuyer sur un contexte de la vie réelle et prendre en compte les implications de la science et de la technologie dans la société. Un grand nombre des projets présentés propose des collaborations entre écoles et enseignement supérieur tandis que d'autres proposent des liens avec l'industrie. De plus, le succès de toutes ces initiatives dépend des compétences des enseignants et donc de la qualité de leur formation initiale. Enfin, le facteur temps semble déterminant dans plusieurs projets étudiés car le type d'apprentissage développé requiert beaucoup plus de temps que dans l'approche traditionnelle où il y a simplement transmission de connaissances par l'enseignant.

Les principaux résultats énoncés par le rapport reprennent les éléments évoqués ci-dessus en ajoutant que l'enseignement des MST doit être introduit très tôt dans la scolarité des élèves en utilisant des pratiques pédagogiques appropriées. Le problème du moindre engagement des filles dans ce type d'études est aussi évoqué.

Enfin, les auteurs du rapport énoncent une série de cinq recommandations à l'attention des autorités responsables de l'éducation (p. 16, 17) :

- « *Mathematics, scientific and technology education should be an entitlement for every children and introduced at an early age. It should be mandatory at all levels of compulsory education ;*

- *More effective and attractive teaching methods should be introduced in mathematics, scientific and technical disciplines at primary and secondary level, in particular by linking learning to real life experiences, working life and society, and by combining classroom-based teaching with appropriate extra-curricular activities ;*
- *The professional profile and practice of MST teachers should be further enhanced, not only by providing them with opportunities and incentives for updating their knowledges of content, but also by developing the didactics of MST and improving the teaching resources available. Improvements to the provision of effective initial and in-service training are needed, as well as providing incentives and special measures for sustaining the long term engagement of teachers. This will require investment of the necessary resources at all appropriate levels ;*
- *The needs of special groups (both high and low achievers and young people from different ethnic background) should be addressed, and the appropriate measures taken to respond to gender-specific attitudes to mathematics, scientific and technical subjects. Teaching methods, pedagogical tools and assessment procedures should be refined and adapted to take account of these specificities ;*
- *Strong and effective partnerships between schools, universities, research institutions, enterprises, parents and other actors should be strongly encouraged and supported at all levels, both in order to improve the quality and 'user-friendliness » of teaching and with a view to preparing young people more effectively for working life and active citizenship. In this collaborative process, the leading role of universities should be recognised and supported. »*

Le second rapport de ce groupe de travail (2004) s'attache à étudier le devenir de ces cinq recommandations à partir des initiatives prises dans les différents pays de l'Union européenne. Une analyse de la situation met en évidence certains obstacles rencontrés. Par exemple, le facteur temps est délicat à gérer pour mettre en œuvre les pratiques pédagogiques recommandées comme celles s'appuyant sur des activités expérimentales. De plus, dans de nombreux pays, le changement de pratiques se heurte à la résistance des enseignants qui peinent à adopter des modèles didactiques d'origine socioconstructiviste. Ce problème s'avère d'ailleurs lié au type d'évaluations mises en œuvre qui, bien souvent, ne propose que la reproduction de connaissances, en accord avec le modèle transmissif utilisé par les enseignants. Le rapport met aussi l'accent sur l'analyse des projets développant des partenariats entre écoles et université, parents et entreprises. Enfin, une nouvelle série d'analyse d'exemples de bonnes pratiques concernant les MST amène les auteurs à insister auprès des décideurs politiques pour la mise en place de pratiques pédagogiques dans le domaine de l'enseignement des MST impliquant des activités pratiques donnant du sens et assurant la participation active des apprenants. Les auteurs formulent enfin une série de recommandations centrées sur les curricula et les méthodes d'enseignement (p. 13-15) :

- *« Curricula should clearly take into account the important role of technology education which should be addressed as a field in its own right within MST. Technology education should be seen as different but complementary to science education ;*
- *The needs of low-achieving pupils in MST should be addressed specifically by implementing MST curricula that are appropriate to their needs, abilities and interests, by providing more opportunities for practical activities and by introducing initiatives such as special classes, inclusion measures, appropriate textbooks and materials, etc. ;*
- *It is essential that policies tackle the problem of gender imbalance in MST, either through general policies designed to address equal opportunities and/or through specific measures (at teacher training level, through revision of didactical materials, special programmes to appeal specifically to girls, etc.) ;*
- *Pedagogy is a crucial area for decision-makers to address if MST subjects are to improve in effectiveness and attractiveness. Measures should therefore be taken to*

connect more systematically MST teaching to real-life contexts and experiences. Teachers should be provided with the means (in time and resources) to do so, especially through extra-curricular activities. As the most effective pedagogies are time-consuming, time devoted to practical activities should be reorganised in order to improve the effectiveness of teaching and learning. One possibility would consist of moving from 'content'-to 'activity'-based teaching and foster pupils' curiosity while avoiding the overcrowded curriculum ;

- *Policies should address the perceived reluctance of teachers to adopt new didactics in the field of MST and find ways and means, in particular through the dissemination of good practices, to change the situation. Teachers should also have access to resources centers supporting the development of new innovative pedagogical methods ;*
- *Pupils' assessment procedures should give importance to both theoretical and practical work and promote new teaching methodology ;*
- *Any measure taken (at policy level or through the development of specific initiatives/partnerships) to increase interest and participation of pupils in MST, and in particular girls, should foster the participation in order to help them overcome their prejudice vis-à-vis these fields ;*
- *Partnerships/initiatives aimed at providing « second chance » opportunities for those who did not opt for MST subjects should be developed ;*
- *Partnerships between schools and universities to increase interest and participation in MST should be made more frequent. Universities, and higher education institutions, should have the adequate means (both human and financial resources) to cope with potentially large demand that might arise from schools. »*

De son côté, le High Level Group on Increasing Human Resources for Science and Technology in Europe, sous la présidence de José Mariano Gago, a présenté un rapport (2004) à la demande de la Commission Européenne sur l'accroissement des ressources humaines pour la science et la technologie. Dans la perspective des objectifs définis par les sommets européens de Lisbonne en 2000 et de Barcelone en 2002 (3% du PIB doivent être consacrés à la recherche d'ici 2010), ce rapport analyse le marché du travail en sciences et technologie et le développement de la recherche en Europe. Il s'intéresse aussi à l'éducation scientifique et technologique dans les différents systèmes éducatifs et met en évidence un certain nombre de limites actuelles : enseignement des sciences trop abstrait, image de la science véhiculée par l'enseignement éloignée de la science qui se fait, manque de liens avec les possibles carrières scientifiques dans l'industrie et la recherche, etc.

Plus récemment, le High Level Group on Science Education (2007), sous la direction de Michel Rocard, reprend une grande partie des études évoquées précédemment et développe un certain nombre de recommandations concernant les changements à apporter dans l'enseignement des sciences⁵² à l'école si l'Europe veut lutter efficacement contre la désaffection des filières scientifiques. L'enjeu est de permettre à l'Europe d'améliorer la qualité de ses recherches et de développer sa capacité à innover. Il s'agit aussi de renforcer l'alphabétisation scientifique pour une société dépendant de plus en plus de la connaissance. Parmi les principales pistes avancées dans ce document, le changement des pratiques pédagogiques tient une place prépondérante pour augmenter l'intérêt pour les sciences. Les mesures à prendre concernent tous les niveaux : local, national et européen. Il s'agit de privilégier les méthodes basées sur l'investigation (Inquiry Based Science Education, IBSE) même si le recours à celles-ci n'exclut pas de s'appuyer sur des approches déductives plus traditionnelles. Pour le High Level Group on Science Education, cette pédagogie basée sur l'investigation permet de développer des coopérations entre les différents acteurs dans et hors de l'école. Le rapport incite à soutenir les enseignants de

⁵² Il est à noter que dans ce rapport, le terme de sciences est utilisé au sens large en incluant les mathématiques.

sciences en favorisant la participation à des réseaux. Enfin, il cite en exemple deux initiatives innovantes issues de travaux de recherche en éducation scientifique et technologique (*Pollen*⁵³ et *Sinus Transfer*⁵⁴) qui devraient être soutenues au niveau européen.

Ajoutons qu'un Eurobaromètre⁵⁵ « *Les Européens, la science et la technologie* » (2001) apporte des indications sur l'expérience et la perception qu'ont les Européens des sciences et des technologies. Une partie de cette étude concerne « *la crise de la science chez les jeunes* ». La désaffection des jeunes pour les études et les carrières scientifiques est attribuée par la population européenne interrogée en premier lieu « *au manque d'attrait des cours de sciences* » puis à « *la difficulté de ces matières* » et en troisième lieu au fait que « *les jeunes sont moins intéressés par les sujets scientifiques* ». « *Les salaires et les perspectives de carrière pas assez attrayants* » sont aussi mentionnés mais l'idée que cette désaffection pourrait être causée par une « *image de la science trop négative dans la société* » convainc beaucoup moins (30% environ). Le sondage compare aussi les raisons de la désaffection avancées par les jeunes en cours d'étude à celles de l'ensemble de l'échantillon. On retrouve les mêmes motifs que ceux cités précédemment mais avec une fréquence plus importante sauf pour la motivation du manque d'avantages matériels (salaires, carrières) qui est un peu moins fréquent chez les jeunes en cours d'étude que dans l'ensemble de la population européenne. « *L'idée selon laquelle ce manque de vocations scientifiques constituerait une menace pour le développement socio-économique futur ne convainc que 42,4 % des Européens* » et 54,1 % de la population interrogée « *estiment que les entreprises trouveront toujours les personnes compétentes dont elles ont besoin* » (p. 45). Par ailleurs, « *l'idée de politiques publiques volontaristes dans ce domaine est soutenue par près des deux tiers des Européens : 60,3 % d'entre eux souhaiteraient que les autorités tentent de remédier à cette situation* » (p. 46).

Enfin, un récent Eurobaromètre Flash « *Les jeunes et la science* » (2008), réalisé auprès des jeunes de 15 à 25 ans des 27 pays membres de l'Union européenne a abordé, parmi d'autres questions, leur projet d'études (ou non) de sujets scientifiques dans le futur. Une minorité de jeunes déclare envisager des études scientifiques, les sciences sociales apparaissant comme plus choisies que les mathématiques. Il est à noter que les jeunes des nouveaux États membres sont légèrement plus ouverts aux études scientifiques. Les métiers d'ingénieur (222 %) et les professions de la santé (22 %) sont les plus cités à propos des souhaits d'orientation professionnelle. Les jeunes femmes choisiraient d'étudier les sciences naturelles ou les mathématiques pour devenir des professionnels de santé, professeurs ou chercheuses dans le secteur public. De leur côté, les jeunes hommes seraient plus enclin à opter pour les métiers d'ingénieur, techniciens ou chercheur dans le secteur privé. Enfin, pratiquement la moitié des réponses s'accorde sur le fait que les filles et les jeunes femmes devraient être bien plus encouragées à entreprendre des études et des carrières scientifiques.

6.1.1.3 Autres rapports

Le phénomène de désaffection pour les études scientifiques donne également lieu à des rapports au niveau des États ou des Régions.

Ainsi, un rapport anglais « *Set for success* » (Roberts, 2002), partant des besoins futurs dans le domaine de la recherche et du développement et de l'innovation, constate un

⁵³ <http://www.pollen-europa.net>

⁵⁴ Pour en savoir plus sur ce dispositif de développement professionnel des enseignants, consulter par exemple Ostermeier, Prenzel et Duit (2009).

⁵⁵ Les sondages Eurobaromètre sont réalisés par la Direction Générale Presse et Communication de la Commission Européenne. L'Eurobaromètre 55.2 a été réalisé à la demande de la Direction Générale de la Recherche dans les quinze états membres. Il concerne un échantillon national représentatif de la population âgée de quinze ans et plus de chaque état et il s'appuie sur un questionnaire fermé.

manque de diplômés dans certaines disciplines scientifiques (mathématiques, physique et chimie). Il étudie la place des sciences dans le système éducatif anglais, de l'enseignement primaire à l'enseignement supérieur, et fait des recommandations pour chaque secteur. On retrouve dans ce rapport un certain nombre de constats communs à d'autres pays industrialisés : chute des effectifs pour la discipline physique au lycée, absence de femmes dans les filières scientifiques universitaires, image négative de la science chez les étudiants ou encore insuffisante attractivité des carrières scientifiques. Les raisons avancées de ces difficultés pour l'enseignement primaire et secondaire sont la pénurie d'enseignants de mathématiques et de sciences, le manque d'intérêt des cours de sciences auprès des élèves et les équipements vétustes des laboratoires.

La situation en Grande-Bretagne semble évoluer lentement comme le montre la parution d'un rapport récent (Walport, 2009) concernant l'enseignement des sciences, technologie, ingénierie et mathématiques (STEM) du primaire à l'enseignement supérieur. Le nombre d'élèves en sciences et en mathématiques augmente et les résultats aux enquêtes internationales (PISA, TIMSS) sont bons, d'après le rapporteur. Cependant, des problèmes non résolus demeurent et le document émet une série de recommandations autour de cinq thèmes : « The STEM workforce », « The curriculum, qualifications and assessment », « Coherent STEM programmes, pathways and enrichment », Pull mechanisms », « School and college ethos ».

Un autre exemple est donné par le bilan du colloque « La crise mondiale des sciences » organisé par le Conseil Régional Nord Pas de Calais (2005) qui note que les causes de ce phénomène sont nombreuses et variées. Les principaux facteurs de découragement des jeunes vers des carrières scientifiques identifiés sont les suivants : l'image de la science et de ses professionnels ; la difficulté des études, un enseignement rigide et déshumanisé, manquant de passion ; le manque de connaissances des débouchés et carrières possibles ; les clichés sociaux, et un manque de modèles, pour les filles et les minorités ; et pour la recherche : les salaires insuffisants, la précarité de l'emploi, le manque de reconnaissance du travail de chercheur et de la thèse pour trouver ensuite un emploi.

6.1.1.4 UNESCO

Les problèmes auxquels sont confrontés l'Organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) sont en grande partie différents de ceux évoqués précédemment pour l'Union européenne mais certaines préoccupations sont communes comme le phénomène de désaffection pour les sciences. Pour l'UNESCO en effet, le désintérêt grandissant des enfants et des jeunes pour les sciences et la technologie à travers le monde est une source de préoccupation majeure, d'autant que les enfants d'aujourd'hui seront les citoyens et les décideurs de demain et qu'ils vivront dans des sociétés de plus en plus fondées sur le savoir. Face à ce problème, l'UNESCO développe des coopérations internationales dans le domaine des sciences fondamentales et de l'ingénieur dans le cadre de son programme scientifique et a mis en place un programme spécifique sur l'enseignement des sciences et de la technologie. Par exemple, au cours de la 34^{ème} session de la Conférence générale de l'UNESCO, la table ronde ministérielle sur la science et la technologie au service du développement durable (2007) a élaboré des positions communes concernant les défis à venir dans lesquels figurent un certain nombre d'éléments évoqués dans les rapports internationaux étudiés précédemment :

- « *L'enseignement des sciences revêt une importance fondamentale et doit être promu à tous les niveaux, en faisant une place accrue à l'éducation informelle afin de toucher le plus grand nombre ;*
- *Il conviendrait d'élaborer et d'adopter des approches novatrices pour inciter les jeunes à entreprendre des études dans les disciplines scientifiques et les mathématiques et une carrière dans la recherche ;*

- *La formation préalable et en cours d'emploi des professeurs de science et de mathématiques doit être renforcée afin de dynamiser l'enseignement scientifique ;*
- *Une meilleure intégration de l'enseignement, de la recherche et de la commercialisation scientifiques s'impose afin de promouvoir l'innovation dans une société du savoir. »*

Cette table ronde a énoncée également quelques « recommandations concrètes » correspondants en partie à celle rencontrées au niveau européen :

- *« L'UNESCO devrait créer des instances internationales pour l'échange de pratiques optimales dans le domaine de l'enseignement des sciences et de l'élaboration des programmes d'enseignement scientifique tant dans les écoles que dans les universités ;*
- *Il faudrait mettre l'accent sur l'équité entre les sexes à tous les niveaux de l'enseignement des sciences, ainsi que pour la poursuite de carrières en science et en ingénierie ;*
- *Il est nécessaire de vulgariser et de démystifier la science parmi le grand public, et en particulier chez les jeunes. »*

Le communiqué final de la table ronde aborde aussi quelques perspectives à propos de la coopération internationale au service de politiques innovantes pour la science et la technologie :

- *« Il est possible de rendre l'enseignement des sciences plus abordable financièrement et d'en faciliter l'accès, en particulier dans les pays en développement, par un recours accru aux didacticiels gratuits, aux bibliothèques numériques et aux technologies d'enseignement à distance ;*
- *L'exode des compétences frappe de nombreuses communautés scientifiques nationales. De nouvelles modalités devraient donc être élaborées pour faire face au phénomène d'une manière qui profite aux pays touchés et qui facilite la circulation des compétences à l'échelle mondiale. »*

Les projets concernant l'enseignement des sciences et de la technologie concentrent les moyens et les méthodes pour aborder ces problèmes dans l'éducation formelle et informelle. Depuis une décennie, l'UNESCO a ainsi mis en place un projet mondial de micro-sciences. Des modules didactiques ont été élaborés et diffusés avec divers partenaires à travers le monde, notamment comme ressources pour les travaux pratiques scientifiques. En effet, pour leurs promoteurs, les travaux pratiques sont un volet fondamental de l'apprentissage des sciences. Malheureusement, il n'est pas toujours possible de les mettre en place pour des raisons de coût, de sécurité, d'évacuation des déchets et des problèmes rencontrés par les enseignants dans la préparation de telles séances de classes. Actuellement, le projet micro-sciences s'appuie sur l'introduction de mini-laboratoires dans le système éducatif des pays développés ou en développement à l'usage duquel les enseignants sont préalablement formés. *« La méthodologie de la microscience propose des expériences pratiques en chimie, biologie et physique, aux élèves du primaire et du secondaire comme aux étudiants sous la forme de mallettes de microscience avec livrets d'accompagnement pédagogique »* et elle *« contribue au développement de la réflexion scientifique »* (Liouliou, 2007).

6.1.2 Les rapports français sur les études scientifiques

Le début du XXI^{ème} siècle voit de nombreuses études institutionnelles se succéder pour analyser le phénomène de désaffection des études scientifiques en France.

6.1.2.1 Le rapport Ourisson (2002)

Ce rapport, rédigé par une commission présidée par Guy Ourisson (ancien président de l'Académie des Sciences) présente une appréciation qualitative de la situation des études scientifiques en France. L'auteur note que ce désintérêt est « *certainement lié à la réputation difficile de ces études et, pour certains des meilleurs étudiants, au constat de la faible attractivité des carrières scientifiques en termes de salaires ainsi qu'aux difficultés réelles des débuts de carrière.* » Ce rapport se conclut par une série de dix-huit propositions sensées contribuer à l'amélioration de la situation. La majorité de ces propositions sont centrées sur la nécessité de rendre la science plus attractive. D'autres ciblent l'enseignement primaire ou secondaire (proposition 12 : « *poursuite accélérée du Plan de Rénovation de l'Enseignement des Sciences et de la Technologie – PREST – ; extension de pédagogies inspirées de la Main à la Pâte aux enseignements secondaires* » ; proposition 13 : « *examen de la possibilité de remplacer, au collège, le découpage précoce des sciences en trois disciplines indépendantes, par une initiation aux processus scientifiques dans leur globalité, grâce à un cours de sciences* »). Enfin, une proposition concerne les contenus d'enseignement : (proposition 18 : ... « *que davantage de temps soit consacré à l'étude de phénomènes simples et liés à la vie de tous les jours, plutôt qu'à une initiation sommaire et déformante des résultats les plus récents de la physique moderne* »...). Pour une des premières fois dans un rapport institutionnel français, la désaffection du public féminin pour les sciences est abordée. La proposition 5 envisage en effet « *la mise sur pied d'un programme de discrimination positive envers les jeunes filles* ».

6.1.2.2 Les rapports Porcher (2002, 2003, 2004)

Cette série de trois rapports concerne essentiellement les études scientifiques universitaires.

Le premier rapport (2002) questionne les raisons de la désaffection des jeunes envers les études scientifiques, phénomène apparu en Europe depuis 1990 et 1995 en France et propose un plan d'action pour améliorer l'attractivité des filières scientifiques. L'évolution des effectifs lycéens et étudiants à l'université montre que les bacheliers scientifiques recherchent en priorité des filières professionnalisantes, à effectifs réduits et bien encadrées. Le terme de désaffection peut-être retenu, avance l'auteur du rapport, essentiellement pour le premier cycle universitaire car « *un nombre croissant de bacheliers à vocation scientifique tente de contourner le Deug et d'enchaîner sur un second cycle à l'université* ».

Le rapport étudie diverses raisons possibles à cette crise et l'approche sociologique retient plus l'attention du rapporteur que l'approche idéologique (défiance dans la science). Deux enquêtes citées par l'auteur montrent l'image stéréotypée et désuète du scientifique qui subsiste dans les esprits. « *L'analyse sociologique fait apparaître d'autres causes plus structurelles dans les choix d'orientation* » (p. 31). La composition de la population scolaire a changé, sous les effets des volontés politiques, notamment depuis 1990. « *... l'ouverture de formations scientifiques professionnalisantes a fortement contribué, par exemple, à augmenter la concurrence entre les filières* » (p. 34). Les séries scientifiques sont devenues plus féminisées, plus « démocratisées » (plus de variétés dans les catégories socioprofessionnelles) et moins sélectives. Mais « *en raison des habitudes sociales actuelles, les filles, les élèves d'origine modeste, les élèves « moyens » ont une propension moindre à opter pour des études scientifiques longues* » (p. 36). Le rapporteur s'interroge alors sur les conséquences de la démocratisation de l'enseignement notamment sur l'adaptation de l'enseignement au public des élèves et des étudiants. La place des sciences dans l'enseignement est questionnée. Des enquêtes, citées par l'auteur, montrent que « *les sciences sont perçues comme des disciplines moins essentielles que beaucoup d'autres* » (p. 41). *Si les mathématiques et les sciences naturelles s'en sortent honorablement, l'enseignement de la chimie et surtout de la physique provoque un intérêt médiocre, voire franchement un désintérêt* » (p. 43). On retrouve des résultats du rapport Meirieu sur le lycée (1999) qui montrait que la physique est la science la moins appréciée des lycéens. Cette

désaffection semble un phénomène international puisque, d'après l'auteur, « *la physique est la discipline la moins bien perçue dans tous les pays développés* » (p. 52). Le rapporteur met en cause les programmes (lycée et Deug essentiellement) et la pédagogie employée : « *La théorisation est trop précoce et l'élitisme une notion encore trop présente en sciences* » (p. 44). Pour conclure cette analyse de la désaffection pour les études scientifiques, l'auteur note que « *la France est dans la norme internationale en ce qui concerne les études scientifiques. La hiérarchie des disciplines, le déclin de la physique, la disparité filles/garçons expriment ce que l'on pourrait appeler des tendances lourdes internationales. L'enseignement français est à l'évidence plus livresque, plus théorique que dans d'autres pays. Il s'agit bien d'une « exception culturelle » majeure* » (p. 54).

Le rapport présente ensuite une série de propositions pour améliorer l'attractivité des filières scientifiques. Cela amène notamment l'auteur à s'interroger sur la nature de la science dont la société a besoin. Deux grandes tendances épistémologiques sont à l'œuvre et elles vont « *fortement influencer la pratique enseignante et la réceptivité des élèves et des étudiants* ». La conception historique est opposée à la conception plus contemporaine. La première, « *presque religieuse* » fait apparaître la science comme « *un objet monolithique, inattaquable, un bloc à apprendre et à accepter. ... La science décrit des vérités qui sont autant de lois de la Nature. Nous devons nous plier à ses exigences disciplinaires. C'est le culte du programme scolaire ou universitaire* » (p. 58). Cette vision « *conduit à un apprentissage livresque des sciences. Cette voie privilégie la théorisation qui a toujours été la voie de l'élite dans le passé. C'est la science de mathématiciens et de physiciens.* » La seconde conception, « *apparue dans les années 1980 est une vision plus libertaire qui fissure le système ancien. La connaissance est fragile. L'illusion de tout comprendre un jour s'est effondrée. Les vérités immuables sont devenues éphémères et révisables* » (p. 58).

L'auteur développe ensuite ses idées sur la manière d'enseigner les sciences expérimentales. Pour faire progresser la qualité de l'enseignement des sciences de l'école primaire à l'université, le rapport s'appuie sur six propositions présentant une vision systémique de cet enseignement (liens entre pratiques scolaires et monde de la culture scientifique ou du monde économique, interdisciplinarité, usage des TICE, etc.) et visant à « *faire émerger les méthodes actives afin de faciliter la construction des apprentissages en profondeur et une réelle appropriation des savoirs* ». Ces méthodes « *doivent conduire l'élève ou l'étudiant à saisir le sens des activités proposées, à utiliser les connaissances déjà acquises, à chercher les ressources pertinentes, à faire preuve d'esprit critique, à confronter les points de vue, à intégrer des savoirs nouveaux et à établir le bilan de ses propres compétences* » (p. 62).

Le rapport, prenant exemple sur les pratiques enseignantes internationales, distingue trois approches pédagogiques et trois niveaux d'enseignement :

- La culture scientifique « *conduisant inéluctablement vers une démarche de responsabilité* ». Chaque personne doit disposer « *d'un minimum de connaissances pour ne pas être exclue de la compréhension technique du monde* ». La culture scientifique doit amener à « *comprendre les enjeux de la science lorsque celle-ci est mise en débat* » et doit « *donner du sens aux enseignements scientifiques en les resituant dans un contexte historique et philosophique* ». (p. 67) ;
- La discipline outil : il s'agit d'adapter l'enseignement aux besoins des usagers par des pratiques d'enseignement pluridisciplinaires ;
- La discipline qui « *repose sur des concepts, des lois, des théorèmes et des modèles qu'il est indispensable d'enseigner aux élèves et étudiants parvenus à un certain niveau.* » (p. 68).

Pour l'auteur, le système éducatif français privilégie trop cette dernière approche et se trouve ainsi « *en marge du monde réel* ». Le rapport insiste sur la nécessité d'introduire la culture scientifique et l'aspect outil à chaque niveau d'enseignement (primaire, secondaire,

université). Le rapport présente ensuite une série de propositions visant à faciliter la transition pédagogique lycée-université et à modifier le Deug.

Le deuxième rapport (2003) analyse les formations universitaires scientifiques et propose une série de modifications pédagogiques et structurelles pour améliorer l'attractivité des filières scientifiques universitaires en s'appuyant sur deux conditions : rendre attractifs et intéressants les enseignements scientifiques, prouver que ces études difficiles conduisent à une insertion professionnelle réelle.

Le troisième rapport (2004) analyse le déclin du nombre d'étudiants dans les cursus scientifiques et étudie les rénovations pédagogiques actuelles à l'université et leur impact sur les taux de réussite aux examens et sur les effectifs étudiants en Deug scientifiques. Il déplore qu'un « *nouveau contrat social universitaire* » n'ait pas été mis en place pour faire face à la massification de l'enseignement et il s'attache enfin à faire des propositions pour améliorer l'attractivité des filières scientifiques :

- Repenser le processus d'orientation de la 3^{ème} à Bac + 2 ;
- Prendre en charge le néo-bachelier en début de cursus universitaire ;
- Introduire des enseignements plus technologiques (pratiques, projets, stages) base d'une démarche expérimentale ;
- Former les étudiants aux réalités professionnelles ;
- Former les universitaires à la fonction enseignante.

6.1.2.3 Autres textes

Le rapport Demailly (2001), rédigé à l'attention des ministres de l'Éducation et de la Recherche, tranche avec toutes les autres publications que nous avons consultées. Il considère la désaffection pour les sciences comme une réalité et met l'accent sur les raisons de ce phénomène et propose une série de mesures concernant la place des sciences dans l'enseignement secondaire et l'enseignement supérieur, la place de l'informatique et les fonctionnements administratifs. « *L'analyse soutenue dans ce rapport est que la qualité de l'enseignement public scolaire et universitaire s'est considérablement dégradée depuis une dizaine d'années, pour des raisons objectives et quantifiables, et que c'est cette dégradation globale, massive, qui est la cause principale de la désaffection des étudiants dans les filières scientifiques, ainsi que de la difficulté qu'éprouvent les enseignants et enseignants-chercheurs à pouvoir exercer efficacement leur métier* » (p. 1). Pour l'auteur de ce rapport, les réformes successives et trop rapprochées, mises en œuvre pour faire face à l'accroissement démographique considérable au lycée et à l'université, ont fragilisé « *l'édifice délicat patiemment mis en place par les générations précédentes* » (p. 4) et contribué à la baisse de la qualité de l'enseignement. Les programmes sont durement critiqués : ils sont « *difficiles à assumer par les enseignants et par les manuels scolaires, sauf hélas par la pratique d'un bourrage de crâne ou d'une scolastique de nature à écœurer les élèves les plus motivés* » (p. 4). Les réformes envisagées par l'auteur visent « *à remettre à l'ordre du jour la diversification des filières d'enseignement général, tout en augmentant autant que possible la qualité et l'adaptabilité du système* » (p. 5) car c'est dans ces filières « *que se focalisent une grande partie des dysfonctionnements qui toucheront ultérieurement les filières de formation scientifiques* » (p. 6). Il faudrait revoir les contenus à la hausse à l'école primaire et au collège et envisager dans ce niveau la mise en place de « *filières proposant une approche plus pragmatique, construite comme une alternative positive et valorisante, mettant les élèves au contact du monde du travail, des milieux associatifs* » (p. 6). Les activités « *culturelles* » ou « *superficielles* » de type TPE sont rejetées par l'auteur. « *Le caractère interdisciplinaire des disciplines scientifiques sera au contraire renforcé au moyen de choix pertinents bien explicités aux niveaux des contenus* » (p. 11). Parmi les mesures concernant tous les niveaux de l'enseignement, l'auteur invite à revoir les procédures d'orientation des élèves qui doivent être de la seule prérogative des enseignants. La

formation continue des enseignants du secondaire devrait être obligatoire et intégrée dans leur service. Il faudrait gérer de manière plus flexible les horaires d'enseignement, la carrière des enseignants et mettre en place des partenariats avec le monde du travail.

Le texte rédigé par Duverney (2003) dans le but de se faire « *une opinion personnelle* » se propose d'apporter notamment un point de vue complémentaire aux rapports Ourisson (2002) et Porcher (2002). L'auteur reprend les données statistiques disponibles et analyse le phénomène de chute des effectifs dans les filières scientifiques de l'enseignement supérieur. Il avance comme raison essentielle de cette baisse des effectifs universitaires la diminution spectaculaire du nombre de bacheliers S⁵⁶ depuis 1995 et il montre que ce sont les CPGE scientifiques qui ont le moins souffert de cette baisse. Le rapport approfondit certains aspects de la filière S au lycée. Il lui reproche son excès d'encyclopédisme et il questionne l'approche expérimentale dans l'enseignement de la physique à partir de points de vue épistémologique et pédagogique. L'auteur défend la thèse selon laquelle les difficultés d'orientation dans les filières scientifiques universitaires proviendraient de certains déséquilibres introduits entre les démarches intellectuelles complémentaires dans la progression des compétences en physique et en mathématiques : la démarche heuristique, la démarche déductive et la démarche expérimentale. Le rapport avance quelques propositions pour lutter contre la pénurie de scientifiques à venir sous l'effet « *du départ à la retraite de la génération du baby-boom* » (p. 29) concentrées en quatre points : le problème démographique (faciliter l'immigration), la classe de terminale S (réaménager les structures des enseignements), le premier cycle universitaire (contrôler l'absentéisme) et la sensibilisation aux sciences et techniques (alléger la charge de travail en série S ; organiser des activités spécifiques de promotion des études scientifiques).

Le rapport rédigé par Charvet (2004) à la demande du recteur de l'académie d'Orléans-Tours montre que les données statistiques locales concernant les études universitaires scientifiques suivent les évolutions nationales. Les effectifs chutent au niveau du premier cycle universitaire mais de manière inégale : forte baisse en physique-chimie, dans une moindre mesure en Sciences de la Vie et de la Terre, faible diminution en mathématiques et croissance dans la filière Sciences pour l'Ingénieur. « *Comme au niveau national, les nouveaux bacheliers S recherchent des filières sélectives avec un bon encadrement, aux effectifs limités, à objectif professionnel et débouchés visibles, proches de la pédagogie des lycées, ce qui ne correspond pas à l'image des Deug de sciences et technologies. ... Les bacheliers S de l'académie, principaux pourvoyeurs des filières scientifiques, accordent une priorité aux filières professionnalisantes, à effectifs réduits, bien encadrés (similaires aux lycées)*» (p. 30). Les recommandations faites par l'auteur concernent l'optimisation pédagogique du primaire à l'université, le développement de la place des sciences dans une culture scientifique plus large (croiser les disciplines, développer les liens avec la vie quotidienne), les informations des élèves sur leur orientation (contenus et débouchés des filières scientifiques) et d'infléchir le recrutement des filières courtes professionnalisantes (IUT, BTS) en faveur des bacheliers technologiques pour orienter les bacheliers S vers les premiers cycles universitaires.

6.1.2.4 Inspection générale

Une mission d'étude de l'inspection générale de l'éducation nationale et de l'inspection générale de l'administration de l'éducation nationale a conduit à l'élaboration d'un rapport (2007) sur « *La série scientifique au cycle terminal du lycée : articulation avec le cycle de détermination et orientation vers les études supérieures* ». La série scientifique apparaît dans une meilleure position que la série littéraire mais « *la quasi stagnation de la part qu'elle occupe au sein du second cycle d'enseignement général et technologique contraste avec sa*

⁵⁶ Les données et les évolutions constatées ne correspondent pas à celles reprises dans d'autres rapports ou études qui s'accordent sur la stabilité globale des effectifs des bacheliers S.

forte attractivité. Le fait que près d'un tiers des bacheliers scientifiques ne poursuivent pas leurs études supérieures dans ce domaine et que cette proportion soit croissante font, par ailleurs, naître des inquiétudes sur la capacité de la France à former les scientifiques dont son économie, son enseignement et sa recherche ont besoin » (p. 6). Partant de l'idée que le phénomène de désaffection concerne surtout certaines formations universitaires en sciences fondamentales⁵⁷ et que ces conséquences sont sujettes à controverse, le rapport vise à interroger le rôle de la série scientifique dans l'orientation et la formation des futurs scientifiques. Les auteurs ajoutent que *« cette interrogation se trouve renforcée par le désintérêt croissant, de la seconde à la terminale, que manifestent les élèves pour les sciences »* (p. 6). La mission d'étude commence par aborder les raisons de cette situation en analysant le rôle des enseignements de détermination en classe de seconde dans le choix de la série scientifique et l'impact des enseignements de spécialité en terminale sur l'orientation dans l'enseignement supérieur. Puis elle présente et analyse des hypothèses d'évolution et elle propose une nouvelle organisation des enseignements au lycée.

A partir d'une analyse des données statistiques existant sur la série S, le profil des bacheliers scientifiques et leur devenir dans l'enseignement supérieur, les auteurs montrent que le positionnement de la série S au sein du lycée général et technologique ne répond pas aux intentions initiales. *« On ne peut donc que constater que la série S est une filière sélective, qui ouvre toutes les portes pour accéder à l'enseignement supérieur et avec les meilleures chances de réussite. L'observation faite en 1983, dans le rapport national sur les seconds cycles, selon laquelle les études scientifiques étaient détournées de leur finalité et servaient avant tout à sélectionner une élite, reste d'actualité »* (p. 15). Le rapport ajoute que les taux de réussite des bacheliers S dans l'enseignement supérieur sont très bons dans les trois premières années dans la plupart des formations suivies. Les chances de réussite sont les moins élevées en sciences des structures et de la matière (mathématiques, physique, chimie) mais ce paradoxe s'explique par le fait que les meilleurs bacheliers S s'orientent, en général, vers les filières sélectives alors que les moins motivés et les moins bien armés pour poursuivre des études supérieures exigeantes choisissent le plus souvent le premier cycle universitaire de sciences fondamentales. *L'analyse des processus de choix des options de détermination à l'entrée en seconde puis du choix de la série de première, les caractéristiques mêmes de l'enseignement qui est dispensé dans cette série permettent de comprendre les raisons de cet état de fait* » (p. 15).

Le rapport montre que les options de la classe de seconde pré-orientent les élèves plus qu'elles ne les aident à se déterminer comme l'envisageait le projet initial. En fait, *« ni la structure, ni le fonctionnement actuel des enseignements dits de détermination ne permettent donc aujourd'hui d'assurer une orientation optimale vers la première S et de garantir un flux suffisant de futurs scientifiques »* (p. 17). Les expérimentations mises en place dernièrement dans certains établissements pour augmenter le goût des sciences et accroître les orientations en première S, surtout chez les filles, sont trop récentes pour conclure sur leur efficacité mais les rapporteurs semblent peu convaincus de leur pertinence. *« Le système des enseignements de détermination est, pour reprendre des termes souvent utilisés par les interlocuteurs de la mission, à la fois illisible et hypocrite : illisible parce que seuls les initiés sont en mesure de choisir l'option qui, dans le lycée où ils se trouvent inscrits, leur permettra de suivre le parcours qu'ils ambitionnent, hypocrite parce qu'il donne l'illusion d'un choix qui est largement biaisé. Certains des interlocuteurs rencontrés par la mission se demandent même si cela ne nuit pas à l'attractivité du lycée général et technologique »* (p. 21).

⁵⁷ Le rapport note cependant que la baisse des effectifs dans les premiers cycles en sciences fondamentales aurait tendance à ralentir d'après les dernières données statistiques. Les rapporteurs y voient l'effet de certaines politiques académiques développant les relations entre lycées et universités et les efforts conduits par certaines universités pour mieux encadrer les étudiants en premier cycle.

Étudiant ensuite la série scientifique plus en détail, la mission montre qu'elle possède un caractère généraliste indéniable et qu'elle porte donc mal son nom⁵⁸. Les effets de la redynamisation de la place des aspects expérimentaux de la science n'ont pas fait l'objet d'évaluations systématiques. Cependant, les auteurs notent l'effet bénéfique d'un enseignement expérimental en seconde et la motivation pour ce type d'activités en cycle terminal. Cela n'empêche pas l'image des sciences de se dégrader chez les élèves de la série S. Pour la mission, ce désintérêt croissant est dû au caractère élitiste de cette série et à la présence en son sein de nombreux élèves attirés par son caractère de filière d'excellence et non par l'attrait des sciences. Concernant l'aspect trop théorique ou abstrait reproché à l'enseignement scientifique dans cette série, les auteurs font une mise au point et précise qu'il y a souvent confusion « *d'un côté entre ce qu'il y a de trop formel, trop éloigné des questions que peuvent se poser les élèves, trop éloigné de ce qui peut les attirer (et joue donc un rôle négatif en matière d'éveil de vocations scientifiques), et de l'autre ce qui est théorique ou abstrait* » (p. 24). A propos de l'introduction d'enseignements de spécialité en classe de terminale S, le résultat ne correspond pas aux objectifs : « *outre qu'une hiérarchie s'est instaurée entre les spécialités, le choix des élèves obéit à des raisons utilitaristes* » (p. 25). Enfin, cette série est victime de son image et entraîne bien souvent de la souffrance, « *due à la fois au volume de travail demandé aux élèves, au niveau d'exigences fixé par les enseignants et à la crainte de ne pas réussir et de voir ainsi tous ses projets obérés* » (p. 27).

Au final, pour la mission de l'Inspection générale, la série scientifique est toujours dans une situation fragile « *comme l'observait le Conseil national des programmes en 1991 pour la série C. Alors qu'elle est la plus recherchée par les élèves en raison de la largeur des possibilités de poursuite d'études qu'elle offre, de son image d'excellence et de la formation généraliste qu'elle dispense, elle a dû dans le même temps évoluer pour maintenir sa position et remédier au désintérêt croissant des élèves pour les sciences. Le développement des enseignements expérimentaux, s'il a permis de maintenir la part de la série S dans l'ensemble du lycée général et d'y attirer plus de filles, a eu cependant pour effet d'encourager l'orientation vers des études supérieures en sciences appliquées au détriment des sciences fondamentales, ainsi qu'en sciences de la nature et de la vie et dans les formations de santé au détriment des sciences des structures et de la matière. De plus, la mission a constaté, à travers les entretiens qu'elle a eus, que si dans les lycées qui accueillent une majorité d'élèves de milieux favorisés, la prééminence de la série S ne cesse de s'accroître, la situation serait plutôt inverse dans les lycées qui accueillent des élèves de milieux défavorisés. La fusion de la série C et de la série D n'a en rien conduit à démocratiser l'accès au baccalauréat scientifique, ainsi qu'elle l'ambitionnait* » (p. 29).

Comme le souligne Musset (2009) à propos des résultats de ce rapport, « *les sciences fonctionnent en France comme simple outil de sélection scolaire, déconnecté de tout enjeu de culture ou de vocation scientifique* » (p. 2).

6.1.2.5 L'Académie des sciences

L'Académie des sciences s'est particulièrement exprimée ces dernières années sur les difficultés de l'enseignement.

Le rapport rédigé par Jean Dercourt (2004) revient sur le phénomène de désaffection pour les sciences. Le groupe de travail qu'il présidait a examiné diverses données statistiques nationales et particulièrement celles relatives à l'Ile de France. Deux constats se dégagent :

- Une désaffection pour les études scientifiques dans l'enseignement secondaire ne semble pas établie, a fortiori si l'on y adjoint les effectifs des séries STI (sciences et techniques industrielles) et STL (sciences et techniques de laboratoires) ;

⁵⁸ Ce constat est aussi celui des enseignants de sciences physiques et chimiques comme le montre le résultat d'une enquête réalisée par l'Union des professeurs de physique et de chimie (Maurel & Sonnevillle, 2002).

- Les bacheliers privilégient des études organisées par paliers courts, diplômant, leur permettant un accès à tout moment à l'emploi. Les désaffections sont donc ciblées d'où la faveur accordée aux formations d'ingénierie et à celles des études de santé et le désintérêt pour la filière de l'enseignement et celle de la recherche, cloisonnées et inadaptées.

Le rapport se conclut par trois préconisations :

- Favoriser à tous âges et tous cycles l'attractivité vers les sciences et les technologies (soutien à la culture scientifique, généralisation des expériences pilotes type « *Main à la pâte* ») ;
- Accroître l'attractivité des études scientifiques et techniques dans l'enseignement supérieur par une meilleure adaptation aux caractéristiques sociologiques des bacheliers et des étudiants ;
- Structurer le recrutement des enseignants et chercheurs (création d'un pré-recrutement comme mesure d'urgence).

A la demande de la Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, l'Académie des sciences (2007) a présenté ses réflexions sur la question de l'orientation et de l'organisation des enseignements de la première année de Licence dans le domaine des sciences à partir du rapport du groupe de travail « Réforme de l'Enseignement supérieur en France dans le domaine des sciences ». Cette étude revient sur les causes de l'échec en première année et avance dix recommandations pour améliorer la réussite des étudiants regroupées autour des thèmes suivants : attractivité des études universitaires et orientation, accès à l'enseignement supérieur et organisation des études, mesures d'accompagnement.

Plus récemment, un rapport consacré à l'enseignement des sciences au lycée général et technologique (Académie des sciences, 2008) reprend certaines des difficultés évoquées précédemment (niveau général des lycéens en baisse, décroissance du nombre d'étudiants en sciences, notamment des jeunes filles, etc.) et se fait plus précis quant aux modifications de structures à apporter. Les auteurs proposent ainsi un système de parcours diversifiés dès la classe de seconde avec des choix successifs et des possibilités de passerelles. De plus, les liens entre les disciplines sont à privilégier en s'appuyant notamment sur des travaux scientifiques interdisciplinaires personnels. L'emploi des méthodes expérimentales est à amplifier et l'enseignement des bases de l'informatique devrait être envisagé systématiquement. Enfin, un système d'unités de valeur et une part de contrôle continu au baccalauréat, pratiqué pendant les trois années de lycée, devraient être expérimentés.

6.1.2.6 Le Sénat (2003) - L'Assemblée Nationale (2006)

La mission chargée d'étudier la diffusion de la culture scientifique a rédigé un rapport (Blandin & Renar, 2003) au nom de la commission des affaires culturelles du Sénat où elle émet une série de recommandations organisées en vingt et une propositions autour de cinq axes : « *ériger la culture scientifique, technique et industrielle en priorité nationale ; favoriser la diffusion de la culture scientifique, technique et industrielle sur l'ensemble du territoire ; améliorer la cohérence et l'efficacité d'une action à laquelle concourent de très nombreux acteurs de dimension nationale, régionale ou locale, et de statut public ou associatif ; améliorer la place des émissions scientifiques dans la programmation des chaînes de télévision ; favoriser l'enseignement des sciences et son ouverture sur le monde et les métiers de la recherche* » (p. 8).

Dans ce dernier axe, les propositions développent des idées souvent rencontrées dans d'autres rapports. Elles concernent l'enseignement primaire (« *familiariser les élèves dès le plus jeune âge avec la démarche scientifique* ») et l'enseignement au niveau secondaire (« *favoriser ... une approche nouvelle qui permette davantage de regards croisés et une perspective interdisciplinaire* »). D'autres propositions incitent les établissements scolaires à s'ouvrir sur l'extérieur à travers des visites de laboratoires de recherche ou des entreprises

actives en matière de recherche. Il est aussi envisagé d'organiser des stages en faveur des enseignants du secondaire dans ces organismes pour les mettre au contact de la recherche dans les disciplines qu'ils enseignent ainsi que pour connaître la réalité des nouveaux métiers qui en sont les débouchés. Les enseignants du primaire doivent, par ailleurs, être mieux formés au sein des IUFM pour assurer une initiation des élèves aux sciences. Concernant l'enseignement supérieur, les propositions ont trait à l'emploi (information sur les métiers liés aux études scientifiques, bourses de pré-recrutement pour préparer les concours de recrutement des enseignants) ou à des modifications des programmes dans le cadre de la mise en place du système LMD.

La mission parlementaire sur l'enseignement des disciplines scientifiques dans le primaire et le secondaire s'est attachée, elle aussi, à étudier la place qui devrait être réservée à la culture scientifique (Rolland, 2006). Cette mission a procédé à l'audition de personnalités de la science et de l'Éducation nationale pour alimenter ses travaux. Après avoir analysé le phénomène de désaffection pour les sciences, la commission propose une série de recommandations pour le système éducatif et la formation des maîtres.

Dans une première partie, le rapport situe le phénomène de désaffection des jeunes pour les études scientifiques dans un contexte mondial. Au niveau international, le désenchantement général vis-à-vis de la science serait dû à de multiples facteurs : une image dégradée de la science et des scientifiques, des disciplines scolaires et universitaires trop exigeantes, un enseignement trop cloisonné et déconnecté en particulier de l'éclairage des sciences humaines ainsi que des facteurs socio-économiques, des facteurs politiques propres à chaque pays. Le problème de la sous représentation des femmes dans les carrières scientifiques est « *au moins aussi universel que le scepticisme vis-à-vis des progrès apportés par la science* » (p. 14), le poids des stéréotypes de genre étant encore trop important. L'enseignement serait trop académique : « *L'acquisition d'une démarche intellectuelle proprement scientifique est abandonnée au profit de l'apprentissage de définitions et de procédés standards* » (p. 19). Les méthodes d'enseignement des sciences constituent une des principales explications mises en avant, notamment par les élèves eux-mêmes, comme cause de la désaffection. « *...l'enseignement des sciences ne développe pas, disent-ils, leur sens critique et ne leur apporte rien d'utile au quotidien* » (p. 20). Mais cela n'empêche pas les jeunes d'être convaincus de l'intérêt des sciences pour la société.

La situation française, analysée ensuite dans le rapport, semble paradoxale. En effet, la désaffection est moindre que dans bien d'autres pays mais le manque inquiétant de dynamisme des entreprises françaises en matière de recherche et développement se répercute sur la faible attirance des jeunes pour ce type d'activité. Reprenant les éléments essentiels des rapports Ourisson (2002) et Porcher (2002), la mission parlementaire revient sur les causes du phénomène : déterminants sociaux et/ou de genre, perte de confiance dans la science, image sociale de la science attirant moins les bons élèves qu'il y a vingt ans, liens entre science et économie mal perçus et amenant une perte de légitimité.

« *Ce qui manque donc profondément dans le système scolaire français, c'est la lisibilité des carrières scientifiques. Pour beaucoup de jeunes, un chercheur est condamné à un parcours d'errance pour un salaire de misère. Par ailleurs, la représentation sociale du chercheur « apprenti sorcier » contribue à la désaffection constatée* » (p. 23).

Le problème spécifique de la physique-chimie est aussi évoqué. D'après la direction de l'évaluation et de la prospective (DEP) du ministère de l'Éducation, de l'enseignement supérieur et de la recherche, « *les disciplines de sciences physique et chimie se sont progressivement dévalorisées et d'autres disciplines, telles les sciences de l'ingénieur, ont pris le pas sur ces matières traditionnelles* » (p. 24).

La désaffection pour les filières scientifiques et la question du genre⁵⁹ sont analysées plus précisément. La mission évoque les travaux de Cardi sur les réactions d'auto-limitation et d'auto-élimination et ceux de Kalali (2005) qui montrent que « *la différence de cursus scolaire entre les sexes est essentiellement due à des processus d'auto-sélection s'appuyant sur une dépréciation de leur propre valeur par les filles* ». Ces phénomènes proviendraient d'une construction familiale et scolaire des différences des attitudes des filles et des garçons vis-à-vis des savoirs.

Le niveau des élèves, en particulier les compétences en sciences, est étudié dans le rapport à travers les résultats de plusieurs enquêtes internationales (TIMSS⁶⁰ ; PISA, 2003) et les commentaires qui en sont faits par la DEPP⁶¹. D'autres études menées par l'OCDE sont aussi évoquées. Il apparaît ainsi que l'on peut « *considérer que la France est globalement dans la moyenne et dans la norme en ce qui concerne les résultats des élèves. Mais l'enseignement scientifique français semble plus livresque, plus théorique que dans la plupart des autres pays.* » (p. 32) Le système éducatif français sous-estimerait « *trois des principaux objectifs de l'enseignement des sciences : le plaisir de la découverte ; l'augmentation des capacités à apprendre, à trouver des informations et à les gérer ; la capacité à développer une raison critique permettant un jugement sur les grands problèmes scientifiques du moment* » (p. 30).

Dans une deuxième partie, le rapport aborde la place des sciences dans la culture du citoyen du XXI^{ème} siècle. Pour la mission parlementaire, les sources de formation et d'information éducative non formelles (musées, centres scientifiques) devraient être développées. De même, le rôle des médias dans la diffusion de l'information sur les questions scientifiques⁶² apparaît trop peu développé « *alors qu'il existe une curiosité latente non satisfaite et source de frustrations* » (p. 41). Mais, ajoute le rapport, les problèmes de communication entre la science et la société sont aussi du ressort des scientifiques.⁶³ La commission, à l'instar de Canguilhem, regrette que « *la façon actuelle d'enseigner les sciences consiste à identifier la science avec ses résultats et les résultats avec leur énoncé pédagogique du moment. Nul n'imaginerait enseigner l'art, les lettres ou la philosophie sans les rattacher à leur histoire et à leur contexte. Seules les sciences sont extraites de ce qui les a rendues possibles ou les a fait reculer et leur donne leur sens. Seules les sciences sont enseignées autrement que comme une culture* » (p. 43).

Dans une troisième partie, le rapport aborde la rénovation de l'enseignement des sciences qui devrait s'appuyer plus largement sur l'innovation. Deux moments clés sont repérés comme « *déterminants pour sensibiliser les élèves à la démarche scientifique et pour les*

⁵⁹ « *Le concept de « genre » met en avant le sexe socialement construit par opposition à « sexe » qui correspond au sexe biologique. On parle de « système de genre » comme on parle de « système de sexe » pour expliquer l'articulation entre les rôles sociaux sexués, voire leurs relations de tensions, de pouvoir, de domination. Le genre ne traite pas des femmes [ou des hommes] pris isolément, mais de situation des femmes non pas « par rapport aux » mais dans l'intrication des relations -souvent faites d'inégalités- avec les hommes.* » (Frey, 2006).

⁶⁰ <http://nces.ed.gov/timss/>

⁶¹ Pour des analyses détaillées des résultats des élèves français, voir les travaux de la DEPP : Bourny, Fumel, Monnier et Rocher (2004), Monnier (2007) ou encore la contribution du Groupe d'experts français (2007).

⁶² Le thème du développement et de la diffusion de la culture scientifique et technique a fait l'objet d'un rapport rédigé à la demande du premier ministre (Hamelin, 2003).

⁶³ Pour répondre à la désaffection des élèves pour les études scientifiques, Lefour et Chambaud (2004) proposent de repenser la complémentarité enseignement/vulgarisation. Ils évoquent ainsi la « médiation » scientifique et technique qui ne se résume pas à la seule « vulgarisation », terme trop restrictif à leurs yeux. « *La médiation scientifique et technique ne peut se résumer à la seule vulgarisation de la science, ses missions revêtant aujourd'hui un caractère à la fois culturel, social et éducatif. Car médiatiser la chimie, c'est la mettre en débat, c'est faire en sorte que le citoyen comprenne les enjeux du développement de nos sociétés qui ne pourra se poursuivre sans maintenir une activité dans le secteur chimie* » (p. 55).

motiver afin qu'ils fournissent l'effort requis pour ces apprentissages » (p. 47). Il s'agit de l'école élémentaire, moment où la curiosité des enfants est la plus vive et la plus spontanée, et la fin du collège « *où l'intérêt pour les sciences est au plus bas alors que se profilent les choix fondamentaux d'orientation »* (p. 47). Les recommandations de la mission pour rénover l'enseignement des sciences ne s'appuie pas exclusivement sur les méthodes d'apprentissage mais aussi sur « *le bon usage de l'informatique, la rupture avec le cloisonnement disciplinaire et une transformation du mode d'évaluation des élèves »* (p. 48).

Parmi les innovations pédagogiques actuelles, le cas de « *la Main à la pâte* » et de ses limites actuelles sont longuement évoqués : absence d'évaluation de ces activités d'éveil et d'investigation sur la motivation et les résultats des élèves ; activités pratiquées par un trop faible nombre d'élèves ; difficulté de prolonger ces activités au collège. Les expérimentations menées à propos de l'enseignement des mathématiques ainsi que la place à réserver à l'apprentissage de l'informatique sont aussi discutées par la mission parlementaire. « *La mission considère que la démarche d'investigation a une vertu éducative sans pareil et qu'il faut étendre l'expérience de la main à la pâte, sous des formes qui peuvent varier, à toutes les classes du primaire et au collège »* (p. 52). De plus, le rapport prône un décroisement des disciplines scientifiques en les faisant converger selon une approche pluridisciplinaire autour de thèmes communs. Il souhaite enfin passer progressivement de la science (en 6^{ème} et 5^{ème}) aux sciences plus diversifiées, ce qui exigerait que les enseignants soient encouragés et formés à pratiquer la bivalence.

Dans le prolongement de ces recommandations, la mission appuie le projet ActionSciences qui propose la mise en place d'une option sciences en classe de seconde et la création d'une véritable filière scientifique en première et terminale. Un enseignement de détermination « *Démarches et culture scientifiques* » serait « *axé sur la recherche, l'expérimentation, la lecture et la production de textes scientifiques, composantes essentielles de la démarche mathématique comme des sciences expérimentales et viserait d'abord à promouvoir une image des sciences dynamique et motivante »* (p. 63). Cela permettrait de percevoir la science dans sa globalité et d'initier les élèves à la construction d'un savoir scientifique. La mission pense que cette option devrait motiver les élèves, en particulier les filles, pour faire le choix d'une voie générale scientifique. En classes de première et de terminale, il s'agit « *d'alléger les matières non scientifiques pour développer des activités transversales pluridisciplinaires mais aussi pour augmenter les travaux pratiques et les séances d'expérimentation qui initient à la recherche scientifique »* (p. 65).

La dernière partie du rapport concerne les enjeux de la formation et de la motivation des enseignants. La mission parlementaire souhaite redonner toute sa place à l'enseignement des sciences à l'école primaire en formant et en accompagnant les professeurs des écoles qui sont « *sous-formés* » actuellement. Les enseignants du secondaire sont trop enfermés dans leur discipline. Il faut en particulier les familiariser avec l'approche de la science par l'histoire des idées scientifiques et avec l'approche pluridisciplinaire.

Le rapport se termine en déplorant le déficit général de formation continue des enseignants qui expliquerait en partie les difficultés à mettre en place de nouvelles pratiques pédagogiques. Concernant les IUFM et les concours de recrutement, la mission préconise une politique de pré-recrutement des futurs enseignants du secondaire, assorti d'une indemnité de préparation à l'enseignement secondaire. Le rapport insiste aussi sur l'intérêt des licences pluridisciplinaires qui devraient être généralisées.

6.1.2.7 Le Haut Conseil de la Science et de la Technologie (2007)

Le Haut Conseil de la Science et de la Technologie est l'une des principales institutions créées par la loi de programme pour la recherche de 2006. L'objectif de cette institution est de mettre en cohérence la politique nationale de la recherche et de contribuer à la rénovation du système français de recherche.

L'avis du Haut Conseil sur la désaffection des jeunes pour les études scientifiques supérieures (2007) reprend les principaux constats fait dans d'autres rapports : phénomène de société qui touche la plupart des pays européens avec des particularités françaises ; phénomène se manifestant à l'entrée de l'enseignement supérieur en France alors que la désaffection apparaît dès le collège dans les autres pays développés ; phénomène touchant seulement certaines filières scientifiques qui amène à « *s'interroger sur les effets de la séparation propre à la France entre universités et grandes écoles* » (p. 1).

Le diagnostic du Haut Conseil, réalisé à partir d'entretiens avec des personnalités diverses, porte sur deux niveaux : « *d'une part celui de l'attractivité de la science pour les jeunes, attractivité qui conditionne la vocation à devenir scientifique, et d'autre part celui de l'attractivité des études supérieures et des carrières scientifiques qui, elle, est déterminante pour le choix de filière à l'entrée dans l'enseignement supérieur* » (p. 2). Concernant la faible attractivité de la science, les raisons avancées par le Haut Conseil sont essentiellement :

- L'image peu flatteuse de la science et des scientifiques. La connaissance scientifique n'est plus perçue comme une voie privilégiée d'ascension sociale. De principal vecteur du progrès, la science est devenue cause des risques et des dégradations de l'environnement ;
- L'image peu enthousiasmante de la science donnée par l'enseignement scolaire « *avec des programmes inadaptés et une démarche pédagogique plus orientée vers la sélection que vers la formation à la pratique scientifique* » (p. 2).

La faible attractivité des études supérieures scientifiques serait due à :

- Des perspectives professionnelles apparaissant « *peu attractives au regard d'études longues et difficiles* » (p. 2) ;
- Une mauvaise image des formations scientifiques du premier cycle universitaires face aux classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) et aux Instituts universitaires de technologie (IUT).

Quant au problème du genre dans les études scientifiques, il serait d'origine culturelle et lié aux représentations mentales de la science qui restent « *dans notre société largement antagonistes à la vision de la féminité* » (p. 2).

Le Haut Conseil de la Science et de la Technologie développe une série de recommandations autour des deux orientations du diagnostic. Sur l'attractivité des sciences pour les jeunes, les propositions portent sur l'image de la science dans la société française (« *donner à la science et à l'exercice des métiers scientifiques une place plus importante dans les médias, notamment du service public* » ; « *procéder à une évaluation des actions périscolaires et pour celles qui seraient retenues, favoriser leur implantation et leur généralisation dans les établissements scolaires* ») et sur le rôle déterminant de l'enseignement et de l'orientation scolaire. Les élèves doivent en effet acquérir « *une véritable culture scientifique afin de choisir en connaissance de cause et en plus grand nombre des disciplines scientifiques pour mener leurs études supérieures et entrer dans des métiers utilisant les compétences qu'ils y auront acquises* » (p. 3). Le Haut Conseil recommande que la formation initiale et continue des professeurs d'école, en particulier en sciences, soit revue tout comme le dispositif d'orientation des élèves au collège. Au lycée, la formation proprement dite doit être « *mieux distinguée de la sélection pour que les élèves choisissent des sections conformes à leurs aptitudes et à leurs aspirations* » (p. 4). Cet objectif passe notamment par la révision des programmes scolaires « *actuellement trop vastes et trop abstraits pour être assimilés par tous les futurs bacheliers* » et par « *de nouvelles formes d'épreuves pour le baccalauréat* » (p. 4).

A propos de l'attractivité des études supérieures et des carrières scientifiques, le Haut Conseil recommande que des solutions soient recherchées pour remédier « *à la mauvaise image des formations scientifiques du premier cycle universitaire en dehors des formations de la santé* » (p. 4). Il suggère de restaurer un recrutement sélectif, après le baccalauréat,

d'élèves-professeurs rémunérés durant leurs études. Pour le Haut Conseil, il est urgent de lancer « *une large réflexion sur les carrières scientifiques dans un cadre élargi au partenariat entre la recherche et les entreprises et en lien avec les initiatives européennes* » (p. 5). Concernant la question des différences entre filles et garçons, le Haut Conseil cible ses recommandations sur les changements de représentations des sciences et des métiers à l'école et dans les carrières scientifiques et techniques. Enfin, le Haut Conseil propose la constitution d'une mission « *chargée de définir une stratégie d'immigration scientifique et technique ainsi que des modes de gestion dont l'efficacité et la souplesse permettent de retrouver rapidement une position compétitive sur le marché mondial de l'emploi scientifique et technique* » (p. 6).

6.1.3 Les expertises institutionnelles en France

Au sein du ministère de l'Éducation nationale, la Direction de l'évaluation et de la prospective (DEP) rebaptisée récemment Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance (DEPP) réalise des évaluations du système éducatif français et publie régulièrement des informations statistiques, des rapports sur des thèmes particuliers et des résultats de recherche (revue Éducation et Formations).

Cet organisme s'intéresse en particulier à l'orientation des bacheliers et à leur devenir après leur baccalauréat. Ainsi Lixi (2003) montre que trois nouveaux bacheliers sur quatre inscrits en 1^{ère} année de Deug ont fait le choix d'y poursuivre leurs études en priorité. Seul 10% des étudiants sont inscrits à l'université car ils ont été refusés dans la filière de leur choix mais quatre bacheliers scientifiques sur dix inscrits en Deug avaient fait acte de candidature pour une classe préparatoire, un IUT ou une école (Lemaire & Leseur, 2005). La décision d'intégrer l'université est motivée autant par le contenu des études que par les projets professionnels, en particulier pour les bacheliers scientifiques (Lixi, 2003; Lemaire, 2007). Par contre, une désaffection des bacheliers généraux à l'égard du Deug est constaté, surtout dans les disciplines scientifiques (Lemaire, 2004; Lemaire & Leseur, 2005) entre 1996 et 2002. Cette baisse des effectifs s'explique en partie par une méconnaissance de la diversité des débouchés après ce type d'étude en dehors de l'enseignement ou de la recherche. Les différences persistantes entre les choix faits par les filles et les garçons, à situation comparable, mettent en évidence l'importance des motivations et du projet professionnel (Lemaire, 2004). Les filles sont ainsi sur-représentées dans les filières littéraires du secondaire et du supérieur, dans les filières professionnelles des services, dans les IUFM et dans les écoles paramédicales et sociales alors que les garçons le sont dans les filières scientifiques et industrielles, notamment dans les IUT et les écoles d'ingénieurs (Rosenwald, 2006). Et pourtant, les filles réussissent mieux scolairement que les garçons et ce, quel que soit le niveau d'enseignement, et quelle que soit la filière ou discipline considérée.

Concernant les raisons de l'orientation dans une filière sélective, Lemaire (2005) met en évidence, outre les caractéristiques scolaires, l'effet persistant du sexe, tandis que l'origine familiale a un rôle moindre. Cette étude montre également le rôle déterminant des enseignants dans le choix d'une formation supérieure.

De son côté, en analysant les données publiées par la DEP, Impériali (2003) montre que le nombre d'inscription dans les universités continue de chuter et notamment dans les principales filières scientifiques (-5,7 %) alors que le nombre total d'étudiants dans l'enseignement supérieur est relativement stable depuis 1995. L'effectif du premier cycle a même diminué de 16 % et les sciences fondamentales sont particulièrement touchées avec une baisse de 25,9 %. Impériali note de plus que la répercussion est sensible au niveau des études doctorales, le nombre de thèses en physique, chimie ou sciences de la vie étant en chute importante. Mais, selon lui, la situation n'est pas dramatique car le système éducatif français dispose d'une réserve d'étudiants de qualité, notamment chez les ingénieurs, qu'il serait toujours possible de motiver pour les études doctorales.

En complément de ces données, Harfi (2006) publie, pour le Centre d'analyse stratégique, une note de synthèse sur le phénomène de désaffection des étudiants pour les filières scientifiques en comparant la situation française à la situation internationale. Trois principaux constats se dégagent de cette analyse. Si la plupart des pays de l'OCDE connaissent une croissance des effectifs et des diplômés dans les filières scientifiques et technologiques depuis le début des années 1990, ils enregistrent en revanche une baisse de la part relative de ces filières dans les effectifs totaux des étudiants. La France connaît depuis 1995 une baisse à la fois en termes absolu et relatif des effectifs étudiants dans les filières scientifiques. Toutefois, cette désaffection ne concerne que certaines filières scientifiques du premier cycle universitaire, hors formations dans le domaine de la santé. Au sein des filières scientifiques, les sciences physiques et les mathématiques sont très touchées alors que les effectifs en sciences de l'ingénieur enregistrent une forte croissance sur la période 1995-2000. Cette désaffection reflète le choix d'orientation des bacheliers français, notamment de la filière S, le nombre de ces bacheliers connaissant par ailleurs une stabilité relative depuis dix ans. Plus précisément, l'analyse des taux de poursuite des nouveaux bacheliers dans les différentes filières montre une désaffection pour les disciplines d'enseignement général de l'université. Harfi note que le taux de poursuite des bacheliers généraux dans les filières scientifiques de l'université a chuté de près de la moitié entre 1995 et 2005. Au total, la désaffection pour les filières scientifiques en France touche essentiellement les Licence des filières sciences de l'université. Les bacheliers préfèrent de plus en plus poursuivre leurs études dans des filières sélectives et professionnalisantes comme le montre la croissance des effectifs en classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) ou en sections de techniciens supérieurs (STS) et dans une moindre mesure en Instituts universitaires de technologie (IUT).

6.2 Travaux de recherche en éducation

Nous présentons ici des travaux menés à l'initiative de chercheurs ou d'équipes de chercheurs dans le cadre de leurs propres problématiques touchant les phénomènes de désaffection pour les sciences ou pour les études scientifiques.

6.2.1 Les recherches en sociologie

Les sociologues s'intéressent en effet à la crise de l'enseignement des sciences et aux raisons d'une possible désaffection pour ces disciplines.

Divers colloques nationaux (Poitiers, 2000; Bordeaux, 2003) ou internationaux (Villeneuve d'Ascq, 2002; Amsterdam, 2005; Lille, 2005) se sont penchés sur « *la crise mondiale des sciences* ». D'après un bilan présenté par Convert (2005b), il conviendrait d'être prudent sur l'existence réelle de cette dernière. En effet, ce phénomène semble plus général et il faudrait plutôt évoquer une désaffection pour l'ensemble des disciplines académiques traditionnelles au profit des filières supérieures professionnalisantes dans les pays industrialisés.

L'explication avancée est liée à la forte croissance des effectifs étudiants et la moindre sélection scolaire et sociale que cette croissance suppose nécessairement. Or, « *cette moindre sélection va de pair avec un élargissement de l'offre de formations supérieures professionnalisées. Toutes les conditions sont réunies pour faire chuter les inscriptions d'étudiants dans les disciplines traditionnelles* » (Convert, 2005b). Mais pour cet auteur, cette explication n'est pas générale (2005a) car des résultats convergents peuvent avoir des origines différentes. Par exemple, la situation est différente en Italie ou en Allemagne. Dans ce dernier pays, la désaffection pour les études scientifiques et technologiques s'inscrit dans un processus cyclique des entrées dans les disciplines concernées. Haas (2005a, 2005b) montre ainsi que ce processus correspond en Allemagne à « *une boucle récursive entre l'évolution des inscriptions dans une discipline et l'évolution sur le marché du travail associé*

à cette discipline » (2005a, p. 1). L'analyse proposée par cet auteur met en évidence certaines conditions nécessaires pour la réalisation d'un tel phénomène : par exemple, « *la faculté du système éducatif à moduler sa capacité d'accueil, la durée longue de la phase de formation, la structuration du marché du travail en segments professionnels* » (p. 11). La situation aux Pays-Bas est également différente (Biermans, De Jong, Van Leeuwen & Roeleveld, 2005, cités par Musset, 2009). En effet, le vivier d'étudiants scientifiques existe dans ce pays mais il est très mal exploité. Toutes ces remarques amènent Convert (2005a, 2005b) à inciter à la prudence dans l'interprétation faite par les comparaisons réalisées par les grands organismes internationaux et à revoir l'idée d'une crise mondiale des sciences.

Concernant la situation française, Convert (2003, 2006), Convert et Gugenheim (2005) et Convert, Gugenheim et Ketterer (2005) analysent en détail la désaffection pour les études scientifiques et le cas particulier de la filière physique-chimie. Ce phénomène de désaffection est à moitié vrai puisque toutes les disciplines ne sont pas affectées de la même manière (les filières de la santé et du sport ne sont pas touchées). L'explication à cette crise couramment avancée d'une image de la science dégradée auprès des jeunes générations est rejetée, le nombre de bacheliers S ne variant pas vraiment. Pour ces auteurs, les causes seraient essentiellement socio-démographiques.

Deux contradictions du fonctionnement de l'enseignement supérieur français sont repérées. La première est la coexistence de voies multiples. Ainsi, les filières universitaires classiques (Deug) se trouvent en concurrence avec les classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) et les filières professionnalisantes courtes (IUT, BTS), ces deux dernières ayant un accès sélectif. Les élèves refusés en classe préparatoire (ou qui s'en excluent eux-mêmes) ou non admis en filière technologique courtes se retrouvent donc à l'université. La seconde contradiction est le fonctionnement pédagogique. Il est basé sur l'autonomie individuelle pour les étudiants des filières générales universitaires qui auraient pourtant besoin d'un fort soutien pédagogique du fait de leur origine sociale modeste et de leur niveau scolaire moyen. De leur côté, les filières sélectives proposent un encadrement intense. Le nombre total de lycéens décroissant actuellement et l'offre en filières courtes augmentant, il y aura ainsi moins d'exclus à l'entrée de ces filières et par conséquent, moins d'étudiants à l'université. Concernant les classes préparatoires, ce serait moins l'attraction intrinsèque des bons élèves vers ces filières qui a changé que la composition du public des terminales scientifiques. Depuis 1995 environ, les classes scientifiques sont de moins en moins sélectives, et donc moins distinctives socialement et scolairement. Cette moindre distinction se traduit par un recul des intentions d'entrée en CPGE.

Ce serait également un mécanisme sociodémographique qui expliquerait que la physique-chimie soit particulièrement touchée par la baisse des effectifs. C'est exactement au moment (1995) où l'on a créé, en terminale scientifique, une spécialité physique-chimie que les inscriptions vers ces filières dans l'enseignement supérieur ont commencé à chuter fortement. Or, pour beaucoup d'élèves, le choix de la physique-chimie plutôt que des mathématiques est associé à une moindre ambition scolaire, elle-même associée à une moindre réussite et/ou une origine sociale plus modeste. Cette hiérarchie des disciplines expliquerait aussi l'absence de filles dans les filières universitaires scientifiques.

Les analyses réalisées par Convert et Gugenheim (2005) et Convert et al. (2005) montrent enfin que les filières scientifiques universitaires sont devancées par les filières professionnalisantes dans le rapport investissement scolaire/rendement sur le marché du travail. Le remède ne serait donc pas d'ordre pédagogique mais consisterait plutôt à offrir des signes forts quant aux perspectives professionnelles après des études universitaires (par exemple, pré-recrutement d'enseignants en 1^{ère} année).

De son côté, Beaud (2008) note que l'université rencontre des difficultés pour prendre en charge les étudiants plus fragile scolairement en leur assurant par exemple un meilleur encadrement. Pour cet auteur, en confondant démocratisation et massification, on a réinventé de nouvelles formes d'élimination des élèves issus des milieux populaires par leur

maintien en échec scolaire. Sans une réflexion sur les programmes et sans une modification des méthodes pédagogiques, cette « *fuite en avant professionnalisante* » de l'université ne peut que la conduire à une impasse.

Une recherche sur les filières scientifiques et l'emploi (Béduwé, Fourcade, Giret & Moullet, 2006), menée par le LIRHE (Laboratoire Interdisciplinaire de recherche sur les Ressources et l'Emploi) et le CEREQ (Centre d'études et de recherches sur les qualifications) à la demande de la DEPP, a questionné certaines raisons de la désaffection des étudiants pour les études scientifiques : manque d'information sur les métiers scientifiques ou mauvaise image de ceux-ci. Cette étude note l'absence de consensus sur la notion de scientifique, aussi bien en termes de formation que d'activité professionnelle. « *Il s'agit d'une notion au mieux conventionnelle, définie souvent de manière ad hoc et donc source de nombreuses ambiguïtés* » (p. 11). Cette étude s'attache alors à préciser clairement ce que l'on entend par formation scientifique d'une part, et activité scientifique d'autre part. « *Les formations scientifiques sont celles qui délivrent des connaissances en sciences, sciences fondamentales (mathématiques, physique-chimie, sciences de la nature et de la vie) ou sciences appliquées (sciences de l'ingénieur, sciences techniques et technologiques)* » (p. 11). Les premières conduisent à des diplômes de sciences fondamentales délivrés principalement par les universités alors que les secondes mènent aussi bien à des diplômes universitaires qu'à des DUT ou des diplômes d'ingénieur.

A partir de ces précisions, l'étude montre que la désaffection se situe dans les premiers cycles de sciences fondamentales et beaucoup moins nettement dans les autres filières et dans les autres cycles. Les raisons de cette désaffection avancée dans cette recherche reprennent les éléments évoqués précédemment. « *Au-delà d'une crise idéologique qui amène les citoyens et notamment les jeunes à douter du fait que les sciences sont sources de progrès, les causes de la désaffection renvoient souvent au fonctionnement du système de formation ... Le cas est particulièrement net en France dès que l'on sépare les sciences fondamentales des sciences appliquées, distinction qui recoupe largement celle de la sélectivité des filières de formation* » (p. 11). Une minorité de bacheliers S se dirige vers des études en Deug de sciences. Ce comportement apparaît logique car le choix d'une terminale S correspond pour l'essentiel des jeunes et leur famille à d'autres critères que le goût des sciences (le baccalauréat S étant celui qui ouvre le plus de possibilités d'études supérieures). On retrouve ainsi les résultats avancés par Convert (2003). Les élèves les plus aptes à suivre des enseignements théoriques s'orientent vers des filières sélectives mais professionnalisées tandis que l'université accueille des jeunes mal préparés pour ce type d'études. Et comme les filières professionnelles offrent les meilleures perspectives d'insertion professionnelle, il semblerait que la désaffection soit liée à la qualité et à la quantité des débouchés offerts aux étudiants.

L'étude note une évolution actuelle importante de « *l'offre de formation qui se transforme en profondeur, à la fois quantitativement et qualitativement du fait de la « massification » et de la professionnalisation des enseignements supérieurs ... Les spécialités de sciences fondamentales ne constituent plus qu'une minorité des diplômes universitaires de sciences dont le volume s'est considérablement accru* » (p. 13).

A partir de l'analyse de l'insertion des jeunes scientifiques et du rendement des études scientifiques⁶⁴, cette étude met en évidence plusieurs constats : l'insertion des scientifiques est très sensible à la conjoncture ; le cœur des métiers de l'emploi scientifique (recherche, enseignement) n'est plus accessible qu'aux docteurs et aux lauréats des concours d'enseignement passés par les IUFM. En deçà d'un niveau Bac + 5, les diplômés en sciences occupent des emplois non scientifiques dans une forte proportion. L'étude

⁶⁴ L'Observatoire de l'emploi scientifique (2007), mis en place par le ministère chargé de l'enseignement supérieur et de la recherche, présente un état des lieux de l'emploi scientifique en France tant dans le secteur public que dans le secteur privé.

recommande finalement de redynamiser l'emploi scientifique, en particulier la recherche et l'enseignement, pour lutter contre la désaffection pour les sciences fondamentales.

6.2.2 Les recherches en éducation scientifique

Il semble que les recherches francophones en didactique des sciences ne s'intéressent pas directement à ce phénomène alors que les travaux anglo-saxons sont plus développés sur ce sujet. D'ailleurs, les inquiétudes concernant une diminution de l'intérêt pour les sciences et une désaffection pour ce type d'étude ne sont pas nouvelles (par exemple, Ormerod & Duckworth, 1975, cités par Osborne, Simon & Collins, 2003). En Angleterre et au Pays de Galles, le pourcentage d'élèves du secondaire qui suivent des filières scientifiques (A-Level) diminue depuis plusieurs années (Osborne et al., 2003) au point que la menace sur la prospérité économique de ces pays est prise très au sérieux. La validité des différents rapports parus en Grande Bretagne et aux États-Unis est discutée par certains mais pour Osborne et al. (2003) la baisse d'intérêt pour les sciences reste une sérieuse inquiétude pour n'importe quelle société tentant d'augmenter ses standards en alphabétisation scientifique (« *scientific literacy* »).

6.2.2.1 Le projet GRID

Le projet GRID (*Growing interest in the development of teaching science*), financé par la Commission européenne, présente un état des lieux des politiques éducatives visant à améliorer l'enseignement des sciences à l'école (GRID, 2006). Pour cela, les équipes de recherche participant à ce projet proposent une analyse des rapports et des plans d'actions institutionnels et des préconisations avancées à travers l'Europe. Ce projet a, de plus, élaboré un mémorandum des difficultés relatives à la revalorisation de l'enseignement des sciences à l'école à partir d'enquêtes menées dans plusieurs pays européens (Moebius & Magrefi, 2006). L'ambition de ce projet est d'améliorer l'enseignement scientifique aux niveaux primaire et secondaire en essayant d'identifier certains modèles de fonctionnement susceptibles de faire l'objet de diffusion à grande échelle. Pour cela, il souhaite créer un réseau d'échanges de bonnes pratiques dans le domaine de l'enseignement des sciences en Europe au niveau des décideurs et des établissements scolaires directement impliqués dans des expérimentations innovantes⁶⁵.

Le mémorandum (Moebius & Magrefi, 2006) met en évidence un grand nombre d'obstacles au développement de l'enseignement des sciences à l'école : manque de financement des projets scientifiques, manque de temps durant les heures d'enseignement, manque de laboratoires, d'équipement de ces laboratoires ou de techniciens de laboratoire, manque d'engagement et de motivation au niveau de l'école, manque de programmes et d'initiatives en général pour promouvoir le développement des sciences à l'école. Reprenant les objectifs assignés par la Commission européenne (stratégie de Lisbonne), plusieurs points sont évoqués. Il s'agit en particulier d'encourager les jeunes à poursuivre des études supérieures en physique et en mathématiques, de trouver des méthodes innovantes pour motiver les jeunes filles à poursuivre des études en mathématiques, en sciences et en technologie. Étudiant le contexte politique de plusieurs pays européens, les auteurs repèrent bien une politique pour promouvoir l'intérêt général pour les sciences, les mathématiques et la technologie mais pas de réelles politiques concernant l'enseignement des sciences à l'école, à part quelques initiatives au niveau national ou régional. Bien souvent, les projets développés reposent sur la bonne volonté des enseignants qui disposent de ressources limitées et qui ne voient pas leur investissement reconnu. Les auteurs notent en conclusion de ce mémorandum que les résultats sont en partie reliés à ceux développés dans le rapport du High Level Group on Increasing Human Resources for Science and Technology in

⁶⁵ Site Web de GRID : <http://www.grid-network.eu>

Europe (2004). L'éducation scientifique doit proposer les bases d'une culture scientifique (« scientific literacy ») à tous les étudiants et augmenter l'intérêt pour les sciences, les études scientifiques et les carrières scientifiques. Mais un certain nombre de difficultés sont à surmonter. C'est le cas notamment des curricula et de la formation des enseignants. Il faudrait revoir la manière d'enseigner les sciences pour les rendre plus attractives, en s'appuyant par exemple sur les travaux pratiques ou sur les technologies de l'information et de la communication. De plus, il faudrait investir dans la formation continue des enseignants, peu ou pas développée actuellement.

Pour réaliser l'état des lieux des politiques éducatives, l'équipe GRID analyse dans un premier temps les orientations européennes issues du processus de Lisbonne et met en évidence quelques questions clés (p. 16) autour du phénomène de désintérêt des jeunes pour les études scientifiques et les carrières scientifiques :

- *« How to make sciences more attractive for youngsters and how to promote the teaching and learning of sciences? »*
- *How to encourage or incite young people and pupils to stake up or study sciences?*
- *Which pedagogical tools, changes in the curricula, extracurricular activities etc. are necessary to improve the quality of the teaching (and learning of sciences)?*
- *How to improve the perspectives of scientific and research careers and how to avoid that people drop out of those areas during their professional career?*
- *How to increase and strengthen links between research, the world of work (companies and industry) and society? »*

Dans un deuxième temps, l'équipe GRID présente une analyse comparative des rapports nationaux et des institutions politiques s'intéressant à l'enseignement et à l'apprentissage des mathématiques, des sciences et de la technologie à l'école. Cette étude met l'accent sur les recommandations faites pour promouvoir l'éducation scientifique. D'un point de vue méthodologique, ce travail s'appuie sur des techniques d'investigation et d'observation. Mais comme nous l'avons déjà signalé de notre côté, les auteurs notent à ce propos que le repérage et l'identification de ces rapports sont rendus difficile par l'origine variée de ces documents, allant des ministres de l'éducation à des associations ou des fondations influençant les décisions ministérielles ou bien encore des équipes universitaires. L'équipe GRID repère trois catégories de rapports :

- Un premier groupe de documents s'intéressant à la science et à la promotion de la science en général et s'adressant à la société dans son ensemble ;
- Un deuxième groupe de documents liés au précédent mettant l'accent sur l'éducation scientifique sans distinguer, la plupart du temps, les différentes disciplines. Les approches inter et transdisciplinaires sont ainsi souvent présentes ;
- Un troisième groupe de rapports s'intéressant à l'éducation en général avec certains aspects centrés sur l'éducation scientifique comprenant le plus souvent les mathématiques, la technologie et les TICE en plus des sciences.

La majorité de ces rapports est destinée essentiellement aux décideurs politiques et institutionnels mais aussi aux universitaires, chercheurs, enseignants, inspecteurs ou même au monde de l'industrie. Ils s'adressent parfois aux parents mais jamais aux étudiants ou aux élèves. L'initiative de la rédaction de ces rapports peut être diverse, allant des décideurs politiques aux chercheurs en éducation scientifique ou aux experts en sciences en passant par des inspecteurs ou des représentants de l'industrie. Les auteurs de ces rapports peuvent, eux aussi, appartenir à des mondes différents. Dans certains cas les enseignants, voire leurs organisations syndicales, sont représentés.

L'équipe GRID présente un bilan des recommandations (explicites ou implicites) contenues dans ces différents rapports et les compare ensuite aux préconisations formulées par le Groupe de travail en MST de la Commission européenne (cf. paragraphe 6.1.1.2.). Cette recherche distingue parmi les rapports nationaux des recommandations générales,

structurelles ou bien didactiques et pédagogiques. On arrive ainsi à un véritable catalogue de mesures sensées améliorer l'enseignement des sciences. Cependant, l'essentiel de ces mesures semble en accord avec les préconisations de l'Union européenne. La question de la mise en place de ces recommandations apparaît dans certains rapports et conduit parfois à la réorganisation des systèmes éducatifs. L'accompagnement des mesures et leur évaluation sont aussi évoqués par l'équipe GRID qui essaie de repérer les niveaux de responsabilité. Dans le cas de la France, la responsabilité de l'évaluation incombant à l'Inspection générale et le rôle de l'Académie des sciences dans l'opération « Main à la pâte » sont cités à titre d'exemples efficaces. Enfin, l'étude met en évidence un certain nombre d'actions conduisant à une valorisation et une diffusion des bonnes pratiques.

Une troisième partie du travail du projet GRID s'attache ainsi à repérer et décrire les bonnes pratiques issues d'expériences en cours, à l'image des orientations du Groupe de travail en MST de la Commission européenne. Le but est de proposer une modélisation des fonctionnements susceptibles de faire l'objet de diffusion à grande échelle.

Le rapport propose des conclusions centrées sur les relations existant entre les initiatives de terrain et les rapports institutionnels ou les orientations politiques. C'est ainsi que des projets nationaux comme *Sinus* et *Sinus Transfer* en Allemagne ou bien *La Main à la pâte* en France représentent des exemples spécialement consacrés à l'enseignement des MST. D'autres types de projets sont plus généraux, même s'ils incluent des dimensions propres aux MST. Enfin, des projets, à l'origine non officielle, sont reconnus comme des exemples de bonnes pratiques. L'accent est ensuite mis sur le développement de projets innovants. L'équipe GRID propose quelques repères pour définir ce type de projet. Elle insiste ensuite sur l'importance de leur gestion par les différentes administrations (locales et nationales) pour surmonter les difficultés souvent rencontrées dans leur mise en œuvre.

Puis, l'équipe GRID énonce à son tour une série de recommandations concernant les niveaux local, régional, national ou européen. Au niveau national, l'équipe suggère la mise en place de banque de données présentant les projets innovants dans le domaine des MST. L'accompagnement des enseignants et l'évaluation de ces actions innovantes est aussi envisagée de même que la dimension interdisciplinaire de ces projets. Au niveau européen, l'équipe GRID invite la Commission européenne à ouvrir un site Web en lien avec les banques de données de bonnes pratiques construites aux niveaux régionaux ou nationaux. De plus, l'équipe de recherche suggère la création d'un observatoire consacré aux MST et à leur enseignement. Parmi les fonctions dédiées à celui-ci, l'équipe GRID évoque l'information des différents partenaires de l'école et le grand public, l'aide aux transferts des résultats des innovations, la dissémination des productions et le soutien aux activités de recherche et d'analyse.

Finalement, le rapport de l'équipe GRID compare les conclusions issues de ses propres analyses à celles développées par le rapport du Groupe de travail de la Commission européenne (Working group « Increasing participation in maths, sciences and technology », 2003) en pointant notamment les éventuelles différences. C'est le cas par exemple de certains points concernant les enseignants impliqués dans des projets analysés par l'équipe GRID. Seule une minorité de ceux-ci montrent une aptitude à développer des liens explicites entre théorie et pratique. Mais, selon l'équipe GRID, la reconnaissance de l'engagement, des efforts réalisés, et du temps investi par les enseignants dans ces projets innovants, est une question très importante pour permettre le développement à long terme de ce type d'actions. De plus, les analyses menées par l'équipe ne montrent pas que la question des ressources nécessaires soit un élément essentiel dans la mise en œuvre de ces projets. Pour conclure, l'équipe GRID avance qu'une réforme du système ne serait possible qu'en rapprochant les points forts des différents types d'initiatives et en diffusant les résultats à travers des sites Web, la mise en réseaux ou des activités de formation des enseignants.

6.2.2.2 La Fondation Nuffield et l'éducation scientifique en Europe

Les questionnements relatifs au phénomène de désaffection des matières scientifiques à l'université sont au cœur d'un récent ouvrage (Osborne & Dillon, 2008) rendant compte des réflexions tenues aux cours de deux séminaires organisés par la Fondation Nuffield et rassemblant des représentants de neuf pays européens.

Dans l'analyse présentée, les auteurs identifient les points de convergence et de divergence dans les formes d'éducation aux sciences déployées dans l'enseignement secondaire des pays européens participants. Les auteurs repèrent des défauts dans les domaines des curricula, de la pédagogie et de l'évaluation mais le problème essentiel se trouve au niveau d'un des buts fondamentaux de l'éducation scientifique. Certes, l'école n'a jamais réussi à proposer une telle éducation de manière satisfaisante à tous les élèves. Mais actuellement, elle n'atteint même plus l'objectif originel qui est de fournir une voie d'accès aux sciences pour les futurs scientifiques. Pour les auteurs, il s'agit de réinventer un enseignement des sciences adapté au monde actuel et répondant aux besoins de tous les élèves (qu'ils poursuivent ou non des carrières scientifiques). Les recommandations émises par les auteurs, s'adressant aux éducateurs, aux décideurs politiques et aux scientifiques, vont dans ce sens et sont développées autour de quatre thèmes principaux : curriculum, pédagogie, évaluation des élèves et recrutement et formation professionnelle des enseignants.

Osborne et Dillon (2008) notent que les difficultés de recrutement de futurs scientifiques peuvent être de niveau différent suivant les pays. Il semble que le phénomène de désaffection soit corrélé au niveau économique de chaque pays. Par contre, on rencontre partout une baisse de l'intérêt pour les sciences chez les élèves. Reprenant les résultats des études ROSE⁶⁶ et TIMSS⁶⁷, ils montrent que plus le pays est développé économiquement, moins les jeunes sont intéressés par les études scientifiques. L'interprétation de ces résultats serait d'origine culturelle et le problème proviendrait de l'enseignement des sciences lui-même.

La première des recommandations formulées dans ce document concerne les buts de l'enseignement des sciences. Il s'agit de ne pas considérer celui-ci comme une pré-formation professionnelle pour futurs scientifiques mais comme une éducation en sciences et aux sciences. « *The primary goal of science education across the EU should be to educate students both about the major explanation of the material world that science offers and about the way science works. Science courses whose basic aim is to provide a foundational education for the future scientists and engineers should be optional* » (p. 15).

Pour les auteurs, les curricula scientifiques traditionnels rencontrent plusieurs difficultés. Les connaissances y sont présentées de manière fragmentée et la cohérence générale est difficile à établir. De plus, il y a un grand décalage entre les thèmes abordés à l'école et ceux évoqués dans les médias (par ex. astrophysique, neurosciences, génétique moléculaire). Alors que les sciences et la technologie sont plutôt appréciées des adolescents, on ne retrouve pas un tel intérêt pour les sciences à l'école qui voient les effectifs chuter. En particulier, les filles sont moins intéressées et seule une petite minorité d'entre elles poursuit des carrières scientifiques. La deuxième recommandation porte ainsi sur les curricula. « *More attempts at innovative curricula and ways of organising the teaching of science that address the issue of low student motivation are required. These innovations need to be evaluated. In particular, a physical science curriculum that specifically focuses on developing an understanding of science contexts that are known to interest girls should be developed and trialed within the EU* » (p.16).

⁶⁶ ROSE (Relevance Of Science Education) est une enquête menée par Sjöberg auprès d'élèves de 15 ans sur leur rapport aux sciences en général et sur les sciences à l'école.

<http://www.ils.uio.no/english/rose/publications/english-pub.html>

⁶⁷ Consulter par exemple Martin et al. (2000) ou Ogura (2006) cités par Osborne et Dillon (2008).

Il semble que différents facteurs soient importants à prendre en compte pour expliquer le décalage d'intérêt des jeunes envers les sciences et les sciences à l'école. Pour Osborne et Dillon, la culture des adolescents actuels repose sur des systèmes de valeurs et des idées différentes plutôt ignorés par l'enseignement scientifique.⁶⁸ Il est donc nécessaire de donner une meilleure vision des carrières scientifiques. La troisième recommandation est dirigée vers les problèmes d'information et d'orientation des élèves. « *EU countries need to invest in improving the human and physical resources available to schools for informing students, both about careers in science- where the emphasis should be on why working in science is an important cultural and humanitarian activity- and careers from science where the emphasis should be on the extensive range of potential careers that the study of science affords* » (p. 18).

Même si les facteurs intervenants n'ont pas été identifiés, plusieurs recherches récentes, citées par les auteurs, montrent que la plupart des élèves développent leur intérêt pour les sciences à l'école avant l'âge de 14 ans. Un effort important devrait donc être entrepris pour s'assurer de la qualité de l'enseignement scientifique avant cet âge et pour varier les opportunités de rencontrer les sciences dans et hors de l'école. Les recherches (par ex. Osborne et al., 2003) ont en effet mis en exergue que la qualité de l'enseignement constitue le déterminant majeur pour développer l'intérêt des élèves dans ces disciplines scolaires. La quatrième recommandation porte sur l'enseignement des sciences à l'école primaire et dans le secondaire inférieur. « *Countries should ensure that: teachers of science of the highest quality are provided for students in elementary and lower secondary school; the emphasis in science education before 14 should be on engagement. Evidence would suggest that this is best achieved through opportunities for extended investigate work, and 'hands-on' experimentation and not through a stress on the acquisition of canonical concepts* » (p. 19).

Pour Osborne et Dillon, trop de place a été laissée jusqu'à maintenant aux changements de curriculum comme élément favorable pour engager les élèves vers des disciplines scientifiques. Les auteurs montrent que les pratiques pédagogiques utilisées en cours de sciences sont plutôt stéréotypées et que leur transformation est plus fondamentale. Cet aspect est l'objet de la cinquième recommandation. « *Developing and extending the ways in which science is taught is essential for improving student engagement. Transforming teacher practice across the EU is a long-term project and will require significant and sustained investment in continuous professional development* » (p. 23).

Mais transformer les pratiques des enseignants de sciences suppose aussi une modification des méthodes d'évaluation. La sixième recommandation porte sur le développement des recherches à propos de l'évaluation en sciences. « *EU governments should invest significantly in research and development in assessment in science education. The aim should be to develop items and methods that assess the skills, knowledge and competencies expected of a scientifically literate citizen* » (p.24).

Enfin, pour Osborne et Dillon, le déterminant majeur de tout système éducatif est la qualité de ses enseignants. La septième et dernière recommandation est réservée à ce sujet. « *Good quality teachers, with up-to-date knowledge and skills, are the foundation of any system of formal science education. Systems to ensure the recruitment, retention and continuous professional training of such individuals must be a policy priority in Europe* » (p. 25).

6.2.2.3 Autres exemples de recherches sur l'éducation scientifique en Europe

Nous présentons ci-dessous quelques exemples de recherche ou de points de vue de chercheurs en didactique des sciences sur les origines du phénomène de désaffection pour

⁶⁸ Cette non prise en compte de la culture des jeunes dans les discussions concernant la manière de leur enseigner les sciences est aussi dénoncée par Wood, Lawrenz et Haroldson (2009).

les études scientifiques et sur les modifications curriculaires ou des pratiques d'enseignement envisagées ou mises en place actuellement.

Analysant les données chiffrées issues de différentes recherches menées à propos de l'enseignement des sciences dans cinq pays européens (Chypre, France, Irlande, Slovénie et République tchèque), une étude conduite par le Groupe interuniversitaire projet Sophia (2009) tente d'identifier les origines du phénomène de désaffection. Une première piste s'intéresse au faible pouvoir attractif de ce type d'études. Deux thèses sont avancées. La première concerne la perte de prééminence des sciences dans le champ du savoir au profit d'autres domaines d'études comme le commerce, la finance ou le management. Ces spécialités se présentent en effet « *comme de puissants facteurs d'attractivité : les carrières qu'elles ouvrent incarnent un futur désirable en phase avec l'évolution des aspirations de la jeune génération* » (p. 50). La seconde a trait à de profondes mutations dans les désirs des jeunes à propos de la construction de leur identité. Les auteurs repèrent deux types de critères. Le premier mise sur une identité sociale construite grâce aux études qui permettent d'envisager « *une belle carrière ou un haut statut social* » (p. 50) d'où le choix des spécialités citées plus haut. Le second type vise la construction de son identité autour d'un épanouissement personnel s'appuyant sur des études dans le domaine artistique ou en sciences humaines. Et « *entre ces deux lignes se trouve le territoire restreint des disciplines scientifiques car elles ne répondent stricto sensu à aucun des deux critères* » (p. 50).

Une autre piste étudiée concerne la façon dont les sciences sont enseignées dans ces pays. Les auteurs s'attachent alors à caractériser l'évolution historique de chacun des systèmes éducatifs. « *D'une façon générale, on peut dire que les attentes des cadres réglementaires ont changé. La nécessité de proposer aux élèves des activités qui favorisent le développement des compétences est partout soulignée. Ces compétences sont pensées en calque de celles utilisées par les scientifiques dans leur travail de recherche. En outre, les enjeux culturels et citoyens de l'enseignement des sciences sont soulignés dans tous les programmes en vigueur.* » (p. 52). Mais les auteurs de l'étude notent que ces nouvelles orientations nécessitent une formation adéquate des enseignants, que ce soit en formation initiale ou en formation continue.

Pour sa part, Fourez (2002) examine les positions des acteurs sociaux liés à la crise de l'éducation scientifique dans le secondaire : élèves, enseignants, décideurs, parents.

Pour cet auteur, la question du sens⁶⁹ de l'enseignement scientifique serait essentielle pour les élèves. En effet, pour que les modèles scientifiques qu'on leur impose d'étudier aient du sens, ces modèles doivent leur permettre de comprendre « leur » histoire et « leur » monde. On retrouve la même idée chez Giordan qui avance que « *les jeunes n'ont pas l'impression que les cours de sciences les aident à « décoder le monde ». Ils ont le sentiment qu'on leur fait faire des sciences pour elles-mêmes* » (Giordan, 2010, p. 20). Il ajoute « *que les savoirs acquis restent profondément académiques. Ils ont une fonction temporaire, celle de permettre la réussite des contrôles ou des examens. Rapidement oubliés, ils ne sont pas opératoires pour aborder les questions du quotidien* » (p. 24). Mais Giordan note par ailleurs que cela ne les empêche pas d'être convaincu de l'intérêt des sciences pour la société.

De leur côté, les enseignants de sciences doivent se débrouiller seuls face à cette question du sens de l'étude des disciplines scientifiques. Mais ils sont mal armés car « *ils n'ont guère été confrontés à des questions épistémologiques, historiques et sociétales* » (Fourez, 2002, p. 109) dans leurs propres études. Pour cet auteur, ce sont plus des techniciens de sciences que des éducateurs. Leur formation ne leur a pas permis d'analyser le sens du travail scientifique. Les décideurs du monde économique et industriel s'inquiètent, quant à eux, seulement de leurs besoins en effectifs d'ingénieurs et de scientifiques. Et les parents se préoccupent seulement des emplois futurs de leurs enfants. Enfin, « *pour la plupart des*

⁶⁹ La question du sens est au cœur d'un dossier spécial « Faire des sciences physiques et chimiques » de la revue Cahiers pédagogiques coordonné par Chevigny (2009).

citoyens, ce qui importe vraiment, c'est le développement technologique et non les sciences » (Fourez, 2002, p. 110).

Fourez expose ensuite une série de controverses qu'il perçoit en arrière plan de cette crise sous forme de polarisations, certes de manière explicitement caricaturale, mais pour alimenter la réflexion car ces polarités « *structurent les discours de justification de bien des enseignants* » (p. 110).

A partir d'une étude de différents documents produits par l'Unesco, Dupin (2009) constate pour sa part que le phénomène de désaffection serait dû au fait que les questions traitées à l'école (du primaire à la fin du collège) sont trop éloignées des centres d'intérêt des jeunes. La cause en serait un enseignement basé sur des disciplines scolaires séparées. La solution serait, pour l'Unesco, de s'appuyer sur des enseignements intégrés permettant de traiter des thèmes d'actualité, susceptibles d'intéresser les élèves.

De son côté, Giordan (2010) classe les innovations tentées dans la plupart des pays francophones pour résoudre la crise en deux catégories. D'une part, les nouveaux curricula s'appuient sur deux grandes tendances : l'approche STS (sciences-techniques-société) et le développement des « *éducations à ...* », notamment l'éducation à la santé, à l'environnement et au développement durable. D'autre part, les nouvelles approches pédagogiques ont recours aux « *Hands on* » et aux démarches par questionnement (IBSE), à côté des méthodes dites actives et des méthodes de résolution de problèmes. Giordan pointe les apports mais aussi les limites de ces innovations, notamment les perspectives différentes poursuivies par l'enseignement des sciences et les « *éducation à* ». Pour cet auteur, la priorité serait plutôt de « *changer le rapport des individus aux savoirs scientifiques* » ... ce qui « *suppose une formation optimale de base, dès l'enseignement primaire, à des démarches « socio-épistémologiques », c'est-à-dire à des manières de voir comment les savoirs et les techniques sont structurées pour s'insérer dans une vie sociale qui a un sens discuté collectivement* » (p. 34). Giordan discute aussi de la pertinence des pratiques pédagogiques innovantes et présente certaines des limites qu'il perçoit dans ces dispositifs de type constructiviste ou socioconstructiviste. L'important, pour lui, serait de « *permettre à l'enseignant de s'approprier une gamme de possibles didactiques et le solliciter pour qu'il « jongle » en permanence avec plusieurs modèles pédagogiques* » (p. 37). Mais le problème crucial des décisions de modifications de curricula tient au fait qu'elles ont toujours lieu de manière descendante, sans réelle formation ou accompagnement des enseignants. Et pour Giordan, « *un peu de recul sur un passé récent montrerait que le changement dans l'enseignement ne se légifère pas !* » (p. 38).

6.3 Bilan intermédiaire - Discussion

Les différents résultats évoqués précédemment peuvent être regroupés autour de trois thèmes permettant d'organiser la discussion : les constats, les raisons et les recommandations. Ce paragraphe reprend et développe des questions déjà abordées dans deux articles récents (Boilevin & Ravanis, 2007; Beorchia & Boilevin, 2009).

6.3.1 Les constats

Il est parfois difficile de distinguer les constats des raisons du phénomène de désaffection dans certains rapports qui confondent parfois la cause et la conséquence. Il est vrai que la différence est quelquefois délicate à faire suivant le point de vue adopté. Par exemple, dire que l'image de la science véhiculée par l'enseignement s'avère éloignée de la science qui se pratique réellement est-il un constat ou une des raisons du phénomène de désaffection ?

Des problèmes de langage peuvent aussi interférer dans les interprétations qui sont faites. Outre les difficultés de traduction, certains mots utilisés peuvent désigner des choses différentes. Ainsi, les notions de « scientifique » et « d'études scientifiques » ne recouvrent

pas forcément la même signification suivant les rapports et/ou les pays. Bien que des efforts soient souvent réalisés par les auteurs pour distinguer sciences et technologie, le mot sciences désigne le plus souvent les sciences expérimentales (sciences naturelles) mais quelquefois, ce terme inclut les mathématiques. La distinction proposée par Béduwé et *al.* (2006) semble à cet égard pertinente puisqu'elle sépare les sciences fondamentales et les sciences appliquées. De même, la distinction entre la science et l'utilisation de la science par ses applications mériterait quelquefois d'être précisée. L'avis du Haut Conseil de la Science et de la Technologie (2007) distingue ainsi clairement l'attractivité (ou non attractivité) de la science et l'attractivité (ou non attractivité) des études scientifiques.

Les constats au niveau international montrent que les expressions « *désaffection pour les sciences* » ou « *crise mondiale des sciences* » sont plutôt à proscrire (Convert, 2005). L'expression « désaffection pour les études scientifiques » correspond mieux à une certaine réalité même si Convert (2005, 2006) et Harfi (2006) invitent là encore à la prudence puisqu'ils évoquent plutôt une désaffection générale pour les disciplines académiques traditionnelles.

Au niveau international, les constats à peu près consensuels partagés par les chercheurs et les rapports d'origine institutionnelle sont les suivants :

- Les professions scientifiques et technologiques séduisent moins ;
- Une diminution en valeur relative des effectifs d'étudiants en sciences et technologie, notamment en mathématiques et en sciences physiques ;
- L'image des scientifiques demeure positive mais les avis divergent sur ce point ;
- Un désintérêt manifeste pour les sciences croissant avec l'âge des élèves ;
- Alors qu'elle n'a jamais réussi à proposer une éducation scientifique à tous les élèves, l'école n'arrive plus à fournir une voie d'accès aux sciences pour les futurs scientifiques ;
- Une sous-représentation des femmes dans les filières universitaires de sciences et technologie et dans les carrières scientifiques.

En plus des constats précédents, la situation française présente certaines spécificités :

- La désaffection pour les études scientifiques dans l'enseignement secondaire n'est pas établie surtout si l'on prend en compte les effectifs des séries technologiques ;
- La désaffection pour les études scientifiques ne se manifeste qu'à l'entrée dans l'enseignement supérieur. Ce problème concerne essentiellement le premier cycle de sciences fondamentales de l'université. Toutes les filières ne sont pas touchées, la chute étant plus sensible en physique-chimie et en mathématiques ;
- Les bacheliers S privilégient des filières sélectives et professionnalisantes à effectifs réduits et bien encadrées ;
- L'insertion professionnelle des scientifiques est très sensible à la conjoncture. Le cœur des métiers de l'emploi scientifique (recherche, enseignement) n'est plus accessible qu'au niveau Bac+5.

6.3.2 Les raisons

Les raisons avancées pour expliquer le phénomène de désaffection pour les sciences et/ou les études scientifiques dans les recherches sont très souvent reprises dans les différents rapports. Elles peuvent être regroupées autour de quelques catégories avec cependant certaines particularités françaises :

6.3.2.1 *Facteurs idéologiques*

- Image dégradée de la science : un facteur controversé. Pour certains, l'association entre le développement de la connaissance scientifique et le progrès n'est plus systématique mais cette cause est rejetée par d'autres en ce qui concerne les jeunes générations ;
- Image des scientifiques désuète, éloignée de la réalité ;
- Éloignement de l'enseignement scientifique des centres d'intérêt des jeunes (la question du sens) ;
- Culture adolescente en décalage par rapport aux systèmes de valeurs perçus à travers l'enseignement des sciences.

6.3.2.2 *Facteurs socio-économiques*

- Méconnaissance de la diversité des débouchés et des carrières possibles après des études scientifiques en dehors de la recherche et de l'enseignement ;
- Qualité et quantité des débouchés offerts ;
- Difficultés de la carrière de chercheur et précarité des emplois ;
- Mauvaise image des professions scientifiques et technologiques et/ou faible attractivité des carrières scientifiques ;
- Liens entre science et économie mal perçus amenant une perte de légitimité des carrières scientifiques par rapport à d'autres carrières possibles.

6.3.2.3 *Facteurs socio-démographiques en France*

- La démocratisation du système éducatif français conduit à une moindre sélection scolaire et sociale. Un nombre plus élevé de filles et d'enfants de catégories populaires accède au baccalauréat S. La démocratisation s'accompagne d'un élargissement de l'offre de formations supérieures professionnalisantes. Or, les filles, les élèves d'origine modeste et les élèves « moyens » ont une propension moindre à opter pour des études longues et/ou pour les sciences fondamentales ;
- Le cas des disciplines physique et chimie très touchées par la réforme du baccalauréat S (1995) et l'introduction d'un enseignement de spécialité dans ces matières. Le choix de cette spécialité est fait par des élèves ayant une moindre réussite et/ou une moindre ambition scolaire et/ou une origine sociale plus modeste et qui s'orienteront plus tard vers des études professionnalisantes.

6.3.2.4 *Facteurs sociaux*

- Hiérarchie des disciplines liée à des stéréotypes persistant, les mathématiques occupant une place privilégiée ;
- Études scientifiques perçues comme difficiles ;
- Clichés sociaux sur les métiers scientifiques qui ne seraient pas féminins et/ou qui seraient réservés à une élite intellectuelle ;
- En France, mauvaise image des formations scientifiques en premier cycle universitaire face aux CPGE et IUT.

6.3.2.5 *Facteurs structurels*

- Manque d'équipements de laboratoires et/ou de techniciens de laboratoire pour proposer des activités expérimentales aux élèves dans certains pays ;

- Manque d'enseignants de sciences qualifiés dans certains pays. Piètre qualité de l'enseignement scientifique au niveau primaire dans certains pays ;
- Manque d'engagement et de motivation au niveau des établissements scolaires ;
- Fonctionnement des systèmes éducatifs, manque d'initiatives en général pour promouvoir le développement des sciences à l'école ;
- Filière S du lycée français sélective, élitiste et à caractère trop généraliste accueillant de surcroît de nombreux élèves pas réellement intéressés par les sciences ;
- Double contradiction du système éducatif français : coexistence de voies multiples dans l'enseignement supérieur français ; les filières sélectives (CPGE, IUT, BTS) proposent un encadrement intense et les filières plus « ouvertes » s'appuient sur l'autonomie individuelle alors que le public accueilli aurait besoin de soutien pédagogique.

6.3.2.6 *Facteurs pédagogiques et didactiques*

- Image de la science véhiculée par l'enseignement scolaire peu enthousiasmante ou éloignée de la science qui se fait ;
- Buts de l'enseignement des sciences confondant pré-formation professionnelle pour futurs scientifiques et éducation scientifique pour tous les élèves ;
- Programmes d'enseignement et curricula inadaptés : la science est présentée de manière fragmentée, les contenus sont en décalage avec les thèmes scientifiques traités par les médias. L'enseignement est trop abstrait, rigide, déshumanisé, et il manque de liens avec les sciences humaines ;
- Enseignement trop cloisonné ;
- Démarches pédagogiques peu attrayantes, pratiques pédagogiques trop stéréotypées et trop académiques ;
- Méthodes d'évaluation peu adaptées.

6.3.3 **Les recommandations**

Même si certaines recherches actuelles étudient les recommandations pour lutter contre le phénomène de désaffection pour les études scientifiques, ces dernières sont surtout formulées par les rapports institutionnels. Certaines concernent l'attractivité des sciences, d'autres abordent l'attractivité des études scientifiques dans les différents niveaux du système éducatif. Les propositions avancées dépendent directement des pouvoirs publics et/ou de la société (conditions externes) alors que d'autres dépendent du système éducatif (conditions internes) et quelques unes apparaissent en interaction avec ces deux milieux. Les propositions très générales comme « améliorer l'attractivité des filières scientifiques », « réformer l'enseignement des sciences et des techniques » ou bien encore « ériger la culture scientifique, technique et industrielle comme une priorité nationale » ne sont pas reprises ci-dessous. Seules les recommandations précises sont utilisées pour obtenir une série de conditions externes et internes sensées lutter contre la désaffection pour les études scientifiques.

6.3.3.1 *Conditions externes aux systèmes éducatifs*

- Allouer des moyens suffisants pour assurer des activités pratiques dans tous les pays. Rendre abordable financièrement l'enseignement des sciences dans les pays en développement par un recours aux techniques de l'information et de la communication ;

- Vulgariser et démystifier la science pour le grand public, en particulier les jeunes. Favoriser la diffusion de la culture scientifique, technique et industrielle ; améliorer l'image des sciences dans la société grâce aux médias et aux activités périscolaires ;
- Redynamiser l'emploi scientifique, en particulier la recherche et l'enseignement ; donner des signes forts quant aux perspectives professionnelles après des études scientifiques. Lancer une réflexion sur les carrières scientifiques à l'échelle européenne ;
- Changer la représentation des sciences et des métiers scientifiques pour les jeunes filles notamment. En France, mettre en place un programme de discrimination positive envers les jeunes filles.

6.3.3.2 Conditions internes aux systèmes éducatifs

Enseignement supérieur français

- Améliorer la transition lycée-université ;
- Rendre attractif et intéressants les enseignements scientifiques universitaires ;
- Prouver que des études difficiles conduisent à une insertion professionnelle réelle ; améliorer l'information sur l'orientation⁷⁰ ;
- Prendre en charge les néo-bacheliers en début de cursus universitaire ; adapter l'enseignement scientifique et technologique dans l'enseignement supérieur aux caractéristiques sociologiques des bacheliers et des étudiants ;
- Former les étudiants aux réalités professionnelles ;
- Infléchir le recrutement des filières courtes en faveur des bacheliers technologiques.

Enseignement primaire et secondaire

- Introduire l'enseignement des mathématiques, des sciences et de la technologie dès le plus jeune âge en proposant un enseignement adapté ;
- Concernant les curricula :
 - Rendre les programmes scolaires plus attrayants et actualiser les contenus en proposant plus de liens avec la vie quotidienne (ou au contraire revoir les contenus à la hausse pour certains auteurs) ;
 - Adapter les contenus enseignés pour donner du temps à la pratique expérimentale ;
 - Développer des curricula innovants et les évaluer ;
 - Repenser les conceptions épistémologiques sur la nature de la science enseignée car elles influencent les pratiques enseignantes : conception historique et conception contemporaine. Par exemple, trois approches pédagogiques à introduire dans chaque niveau d'enseignement (primaire, secondaire, universitaire) : culture scientifique, discipline outil, discipline (cette dernière étant trop privilégiée par le système éducatif français) ;
 - Provoquer des ruptures avec les cloisonnements disciplinaires actuels : par exemple, enseignement de science intégré au début du collège, interdisciplinarité.
- Culture scientifique :
 - Proposer une éducation scientifique (système explicatif du monde et fonctionnement de la science) à tous les élèves et pas seulement aux futurs scientifiques et ingénieurs ;
 - Changer le rapport aux savoirs scientifiques ;

⁷⁰ Ces orientations sont prises en compte par la Société Française de Physique qui a mis en place un groupe de réflexion sur les métiers de la physique et sur la manière de présenter leur diversité aux étudiants et lycéens (De Feraudy, Lebrun & Duval, 2003).

- Amener les élèves à acquérir une véritable culture scientifique pour que les choix d'orientation se fassent en connaissance de cause ;
- Développer la place des sciences dans une culture scientifique plus large (liens avec la vie quotidienne, ouverture sur le monde, interdisciplinarité).
- Orientation et information :
 - Développer les partenariats école, université, laboratoires de recherche, entreprises et parents ;
 - Informer les élèves à propos des carrières scientifiques mais aussi des carrières nécessitant des connaissances scientifiques ;
 - En France, repenser le processus d'orientation de la classe de 3^{ème} au niveau Bac +2 qui devrait redevenir une prérogative des enseignants pour certains rapports ;
- Réaménager l'organisation des filières scientifiques au lycée en France.

Les enseignants

- Formation :
 - Mieux former (notamment les enseignants du primaire) à l'enseignement des sciences en développant des ressources didactiques ;
 - S'assurer de la qualité des enseignants de sciences en faisant des efforts sur le recrutement et la formation initiale et en développant la formation continue ;
 - Former les universitaires à la fonction enseignante ;
 - En France, structurer le recrutement des enseignants et des chercheurs notamment par des pré-recrutements ;
 - En France, proposer des stages en laboratoires de recherche ou industriel aux enseignants du secondaire ; former les enseignants à l'histoire des idées scientifiques et aux approches pluridisciplinaires.
- Pratiques d'enseignement :
 - Modifier les pratiques d'enseignement trop stéréotypées. Revoir les méthodes pédagogiques et proposer des méthodes actives facilitant une réelle appropriation des savoirs ou des méthodes de type «Hands' on » ;
 - Adapter les méthodes pédagogiques et les procédures d'évaluation aux spécificités de certains publics d'élèves (genre, ethnicité, etc.) ;
 - Revoir les procédures d'évaluation des élèves en prenant en compte les aspects théoriques et pratiques. Transformer les modes d'évaluation des élèves en distinguant mieux formation et sélection.
- Accompagnement :
 - Accompagner les enseignants impliqués dans ces actions innovantes et évaluer ces dernières ;
 - Organiser la diffusion des bonnes pratiques (observatoire européen).

Mais que faut-il penser des toutes ces recommandations ? Sont-elles toutes pertinentes ?

6.3.4 Discussion

Une désaffection pour les études scientifiques et technologiques existe notamment dans les pays industrialisés. Les professions scientifiques et technologiques séduisent moins et ce type de carrières apparaît moins attractif. Une sous-représentation des femmes dans les filières universitaires scientifiques et technologiques et dans les carrières scientifiques est constatée dans tous ces pays.

La situation française montre que ce phénomène touche essentiellement certaines disciplines (physique et chimie en particulier) au niveau du premier cycle universitaire. Les bacheliers scientifiques privilégient des études organisées principalement dans les filières professionnalisantes.

Les raisons avancées de cette désaffection sont multifactorielles (idéologiques, socio-économiques, socio-démographiques, structurelles et pédagogiques). Les recherches en didactique des sciences sont interrogées par certains de ces facteurs notamment les facteurs idéologiques, pédagogiques et didactiques.

Il est cependant étonnant de constater que les réflexions sur les objectifs et les finalités de l'éducation scientifique sont peu approfondies dans l'ensemble des rapports consultés. On y évoque souvent la culture scientifique et technologique mais sans prendre le temps d'explicitier le propos. Or, comme nous l'avons montré au chapitre 3 (3.2.2.), le développement d'une culture scientifique est lié aux finalités poursuivies pour l'enseignement des sciences. Comment faire des propositions viables sans une réflexion sur les visions possibles de cet enseignement ? Comment concevoir des curricula pour les différents niveaux d'étude sans un positionnement sur les objectifs visés, qu'ils soient économiques, utilitaires, humanistes, démocratiques ou éthiques ? Comment construire des formations d'enseignants en accord avec les finalités poursuivies sans préciser les enjeux ?

« *La prise de conscience de l'acuité de la question [de la réforme de l'éducation scientifique] a suscité la mise en œuvre de politiques éducatives qui montrent à l'évidence des similitudes dans leurs objectifs, voire dans leurs stratégies* » (Robine, 2009, p. 30). Plusieurs objectifs sont ainsi identifiés par Robine :

- La contribution de l'enseignement scientifique à la formation du citoyen ;
- La nécessité d'une réelle démocratisation de l'enseignement des sciences (une éducation de qualité pour tous) ;
- La promotion de l'implication des jeunes dans les études et les carrières scientifiques et technologiques et l'accroissement du niveau de formation dans ces domaines.

Robine constate une homogénéité des démarches et des stratégies préconisées par les États :

- Accent très général mis sur l'enseignement primaire : le plus tôt est le mieux ;
- Importance de la qualité de la formation et du développement professionnel des enseignants ;
- Aspect central de la coopération internationale ;
- Importance et convergence des réformes pédagogiques et didactiques « *basées sur des démarches actives d'investigation, de résolution de problèmes, sur le développement de compétences en lien avec les questions actuelles et les problèmes sociétaux* » (p. 32).

Au même titre que d'autres disciplines (sociologie de l'éducation, philosophie de l'éducation, psychologie, etc.) la didactique des sciences peut apporter un éclairage sur les propositions formulées par les différentes institutions notamment en termes de faisabilité ou sur des effets possibles de certaines mesures préconisées. En particulier, les recommandations portant sur l'accès à la culture scientifique, technique et industrielle, sur les contenus d'enseignement, sur les méthodes d'enseignement et la formation des enseignants font partie des thèmes de réflexion des recherches actuelles en éducation scientifique et technologique. Ces recherches permettraient probablement de lever les obstacles rencontrés par les systèmes éducatifs pour mettre en œuvre certaines préconisations comme la résistance des enseignants à adopter des modèles didactiques d'origine socioconstructivistes.

Il reste cependant à convaincre les décideurs de l'intérêt de ces travaux. En effet, la recherche en éducation n'est pas, en général, considérée comme pertinente par ceux-ci. Étudiant les liens entre la recherche et les décideurs, Olsen et Lie (2006) avancent que ces deux milieux « *utilisent des critères différents pour juger de la pertinence des savoirs appropriés, principalement parce que les deux systèmes utilisent les savoirs dans des buts*

différents » (p. 15). Il s'agit alors de trouver des solutions pour traiter ce problème et notamment des outils de communication entre ces deux milieux⁷¹.

Il semble donc que les recherches en didactique des sciences puissent participer à la réflexion sur les modifications à apporter à l'enseignement des sciences. Plusieurs directions envisagées semblent questionner particulièrement ce champ de recherches :

- Vers des pratiques interdisciplinaires pour désenclaver les disciplines : travaux personnels encadrés, itinéraires de découverte, projet pluridisciplinaire à caractère professionnel, thème de convergence ;
- Vers une refondation partielle des disciplines scolaires : enseignement de science et technologie intégré, éducation à – la citoyenneté, à l'environnement et au développement durable, etc. ;
- Vers une modification des méthodes d'enseignement : méthodes actives, comportant une réflexion sur le statut de l'expérience (par exemple : démarche d'investigation) ;
- Repenser la place des technologies de l'information et de la communication.

Mais ces orientations supposent une réflexion historique, épistémologique et didactique sur les sciences et sur les enjeux de cet enseignement.

Pour notre part, nous avons choisi d'orienter nos travaux vers certaines méthodes d'enseignement des sciences physiques. Les recherches sur la démarche d'enseignement-apprentissage par investigation scientifique semblent, à cet égard, un prolongement des réflexions que nous avons présentées dans les chapitres précédents. Mais avant de développer plus particulièrement cet aspect des recherches en didactique des sciences physiques, il reste à préciser le point de vue des acteurs (enseignants et élèves) sur les motivations et les attitudes envers les sciences et leur enseignement. C'est l'objet du chapitre suivant.

⁷¹ Pour Olsen et Lie (2006) des études internationales comparatives de type PISA ou TIMSS fournissent de tels outils de communication pour échanger des connaissances politiquement pertinentes entre les décideurs et les chercheurs en éducation.

7 Images des sciences physiques et de son enseignement dans le secondaire

Dans le chapitre trois, nous avons étudié la question du type de tâches à proposer aux élèves pour permettre des apprentissages en sciences physiques. Nous abordons ici la même question mais en nous centrant plus sur les élèves. En effet, parmi les facteurs idéologiques, pédagogiques et didactiques invoqués pour expliquer la désaffection des jeunes pour les études scientifiques, on trouve l'image de la science véhiculée par l'enseignement scolaire peu enthousiasmante ou encore des programmes peu ancrés sur la vie quotidienne ainsi que des méthodes pédagogiques trop académiques et rigides.

Le problème de l'intérêt des élèves pour les sciences à l'école se pose alors à travers notamment les questions de la motivation et des attitudes envers les sciences. Sont particulièrement interrogées l'image des sciences physiques et celle de son enseignement.

7.1 Travaux de recherche

De multiples travaux de recherche ont été menés sur la motivation scolaire en contexte scolaire mais peu se sont intéressés spécifiquement à l'enseignement des sciences. Par contre, les recherches sur les attitudes envers les sciences constituent un domaine plus développé, que ce soit à travers des études locales ou bien à travers des enquêtes internationales comme PISA. Pour Venturini (2007), ces deux domaines de recherche ne sont pas concurrents mais plutôt complémentaires. Cet auteur développe d'ailleurs un cadre théorique original pour étudier l'implication des élèves dans l'apprentissage de la physique.

7.1.1 Motivation en contexte scolaire

La question de la motivation en contexte scolaire est un domaine d'étude reposant sur de multiples approches importées des théories de la motivation en général. S'intéressant à l'approche sociocognitive, Venturini (2006) note que les travaux développés spécifiquement dans le cas des sciences semblent très peu nombreux par rapport aux travaux sur la motivation en éducation⁷². Ce courant de recherche propose de fonder l'étude des phénomènes humains comme la motivation sur l'interaction existant entre les comportements d'une personne, ses caractéristiques individuelles, et l'environnement dans lequel elle évolue (Viau, 2003). Venturini présente les modèles de la motivation (en particulier ceux de Viau et de Pintrich⁷³) et les principaux résultats des recherches de manière générale car les résultats obtenus pour les sciences ne présentent pas de réelles spécificités. *« Les modèles utilisés, importés dans les sciences de l'éducation, sont très nombreux et les concepts qu'ils comportent doivent souvent être mieux définis pour plus d'opérationnalité. Les études sont fréquemment situées de manière formelle dans une discipline et plus centrées sur les facteurs du modèle utilisé que sur l'analyse de la motivation spécifiquement disciplinaire. Les variables prises en compte sont plutôt personnelles que situationnelles. Les recherches menées, souvent dans l'enseignement primaire, laissent apparaître quelques résultats communs, montrant l'influence sur la motivation, de la réussite des élèves, de la contrôlabilité des activités et du travail coopératif. Des études spécifiques aux sciences ont fait apparaître le rôle important de l'environnement scolaire sur la motivation, notamment de la manière d'enseigner. »* (2006, p. 88)

⁷² Par exemple, Tuan, Chin & Shieh (2005) cité par Venturini (2006).

⁷³ (Pintrich & Schrauben, 1992; Pintrich & Schunk, 1996, cités par Venturini, 2006).

Pour Venturini, il s'agira pour l'enseignant qui souhaite favoriser la motivation à apprendre dans une situation d'apprentissage scolaire de :

- mettre la question du sens au centre des activités ;
- de développer la responsabilisation de l'élève ;
- de proposer des aides à la réussite ;
- évaluer sans dévaloriser ;
- privilégier la collaboration entre pairs ;
- favoriser les émotions positives en classe.

Trois éléments supplémentaires sont à prendre en compte pour cet auteur (2006, p. 44) :

- « *l'évolution conceptuelle exige la présence simultanée de composantes cognitives et de composantes motivationnelles ;*
- *l'usage de stratégies d'apprentissage et de stratégies d'autorégulation correspond à un engagement cognitif caractéristique de la motivation, mais il nécessite aussi leur maîtrise qui peut difficilement s'acquérir sans l'aide de l'enseignant ;*
- *la motivation n'améliore pas forcément la réussite scolaire. »*

On voit donc que l'environnement scolaire joue un rôle important dans la motivation des élèves pour les sciences à l'école mais d'autres facteurs peuvent intervenir également comme les attitudes envers les sciences.

7.1.2 Attitudes envers les sciences - Image des sciences

L'étude des attitudes envers les sciences est un champ de recherche où de nombreux travaux ont été menés par les chercheurs étrangers, notamment anglo-saxons.

7.1.2.1 Différents types d'attitudes envers les sciences

Ainsi Osborne et al. (2003) discutent dans une revue de synthèse la validité des différentes recherches menées depuis plus de trente ans sur ce sujet. Ils regrettent en particulier le manque de clarté du concept d'attitude envers les sciences. Ces propos sont partagés par Venturini (2004, 2006) qui note que ces travaux ont été menés sans référence théorique explicite, à l'inverse des recherches sur la motivation. Certaines études « *présentent des recouvrements non assumés avec les théories de la motivation et quelques unes utilisent des concepts dans leurs sens commun. Ce faisceau d'insuffisances théoriques conduit à de nombreux problèmes méthodologiques. Les liens entre attitudes et comportement ne sont guère discutés et la construction de typologies est très rare. Les études sont clairement centrées sur les sciences, parfois même sur une discipline.* » (Venturini, 2006, p. 88).

Le concept d'attitude est le plus souvent défini de manière implicite, si bien que Venturini (2006) parle d'un « *concept multiforme aux contours flous et l'opérationnalisation sujette à caution* » (p. 47). Parmi les définitions plus explicites, Venturini retient celle d'Alexandre (Alexandre, 1996, cité par Venturini, 2006) comportant trois composantes : cognitive (« *ensemble des informations sur l'objet d'attitude en même temps que les croyances en rapport avec cet objet et la crédibilité allouée à ces croyances et informations* »), affective (qui « *exprime l'émotion et le sentiment induit par la présence réelle ou évoquée de l'objet ... à l'origine de l'évaluation positive ou négative* »), comportementale (constituée des « *intentions d'actions éveillées par l'objet, le souvenir des comportements passés et l'espoir de réalisation des comportement futurs* »). Il cite également celle d'Osborne et al. (2003) comportant une composante cognitive, une composante affective et une composante intégrant les valeurs relatives à l'objet.

Discutant les méthodologies utilisées (quantitatives ou qualitatives) dans les différentes recherches pour mesurer ces attitudes, Osborne et al. (2003) sont amenés à différencier

attitudes envers les sciences et attitudes envers les sciences à l'école (l'effet de contexte apparaissant essentiel). Ce point de vue est partagé par Venturini (2006) qui invite cependant à la prudence même si les résultats obtenus sont rarement contradictoires. En effet, certaines recherches interrogent les élèves sur leurs attitudes par rapport aux sciences en général mais dans un contexte scolaire. Si bien que l'on a parfois du mal à comprendre si les réponses des élèves sont réellement en termes d'attitudes envers les sciences ou en termes d'attitudes envers les sciences à l'école. C'est le cas par exemple d'une étude récente (Montpied, Hiolle, Gaidioz, Tiberghien & Vince, 2007) menée auprès d'élèves de 14 à 17 ans en région Rhône-Alpes à partir d'un questionnaire sur les sciences en général et les sciences enseignées⁷⁴.

Pour Boy (1992) le rapport à la science et à la technique développé par les jeunes scolarisés dans l'enseignement secondaire (11 à 18 ans) doit être envisagé selon trois points de vue. Tout d'abord, les jeunes, comme les adultes, rencontrent la science en tant qu'institution sociale. La question se pose alors de savoir s'ils entretiennent les mêmes types d'attitudes que les adultes. Contrairement à ses derniers, les jeunes sont en contact régulièrement avec la science à travers les disciplines scientifiques scolaires. On retrouve ainsi les deux distinctions entre les attitudes proposées par Venturini (2006) et Osborne et al. (2003). Mais Boy ajoute un dernier point de vue en précisant que les jeunes rencontrent aussi « *la science médiatisée par les institutions de culture scientifique* » (musées, revues, télévision). Il signale également qu'il « *est difficile d'évaluer avec précision la consommation de culture scientifique des jeunes* » (p. 16) ... et « *difficile de comprendre dans quelle mesure et dans quelles conditions le suivi d'activités scientifiques hors de l'école supplée aux carences de l'enseignement des sciences en milieu scolaire* » (p.17).

Venturini (2006) évoque aussi la typologie proposée par Vasquez Alonso et Manassero Mas distinguant trois types d'attitudes en relation avec les sciences (Vasquez Alonso & Manassero Mas, 1995, cités par Venturini, 2006) : « *les attitudes à l'égard de l'enseignement-apprentissage des sciences et de la technologie, relatives à la perception des éléments scolaires ou des éléments résultant des apprentissages ; les attitudes à l'égard des interactions entre société, science et technologie, relatives à l'image de la science, de ses relations avec la société (et la technologie) et à la perception des thèmes scientifiques à incidence sociale ; les attitudes à l'égard de la connaissance scientifique et technique, relatives à la perception de sa nature, de sa construction et de ses acteurs* » (Venturini, 2006, p. 48).

Ces deux derniers types d'attitudes sont l'objet de certaines recherches. Ainsi, Driver, Leach, Millar et Scott (1996) s'intéressent plus spécifiquement à l'image de la science vue comme la représentation de la science d'un point de vue épistémologique et d'un point de vue de sa fonction sociale. Ces auteurs étudient alors les liens entre la science à l'école, l'alphabétisation scientifique et la compréhension des sciences dans la société. De leur côté, Leach, Millar, Ryder et Séré (2000) montrent que les représentations sur le fonctionnement de la science et de sa fonction sociale sont contextualisées. Enfin, d'autres travaux (Ryder & Leach, 1999; Séré et al., 2001) montrent que l'image de la science construite par des élèves ou des étudiants est liée aux types d'activités de laboratoire qui leurs sont proposées.

Il semble finalement que la distinction entre attitudes envers les sciences dans la société et l'attitude envers les sciences à l'école soit la plus pertinente pour obtenir une image de la situation étudiée.

⁷⁴ Les principaux résultats de cette étude, reposant sur l'exploitation des réponses à un questionnaire, bâti sur le modèle de celui développé dans l'enquête ROSE, sont exposés au paragraphe 7.1.2.3.

7.1.2.2 Attitudes envers les sciences dans la société – Image des sciences

Selon un bilan des recherches sur le sujet mené par Venturini (2004, 2006) les attitudes envers les sciences dans la société seraient plutôt positives. « *Les sciences sont toujours prestigieuses et les métiers qui y sont associés relèvent de l'élite ; leur rôle dans l'évolution et le progrès de la société est important, la confiance à leur égard est en hausse, et l'intérêt qu'elles suscitent grand* » (p. 51, 2006).

Les résultats d'enquêtes étudiant l'image des sciences en France (Boy, 1992; Boy & Muxel, 1989) montrent que la perception de celles-ci est toujours positive auprès du grand public, à travers notamment le mythe du savant dévoué au bien de l'humanité. Ce mythe semble assez solide comme l'indique Boy (2007) même si le public en 2007, croit un petit moins qu'en 1993, que les chercheurs soient des personnes dévouées. La croyance en ce mythe se rencontre d'ailleurs plus dans les classes populaires que dans les classes cultivées. Pour Boy il est important de noter que les gens ont les deux facettes du mythe en tête : « *la majorité des gens pense en même temps que les chercheurs sont dévoués et possèdent un pouvoir qui peut les rendre dangereux* » (2007, p. 25). Le jugement est plus partagé à propos des effets concrets du développement scientifique et technique sur la société. Les réactions de l'opinion sont en fait « *fonction de ce qui s'est réellement passé et de l'interprétation qu'on en a donnée dans la société* » (Boy, 2007, p. 28). Boy note finalement « *qu'il n'y a pas de désintérêt massif pour la culture scientifique* » (2007, p. 32).

Il est intéressant de comparer ces résultats concernant la France à ceux de plusieurs Eurobaromètres⁷⁵ (2001, 2005, 2008, 2010) à propos des Européens et la science pour vérifier leur degré de généralisation. Parmi les thèmes abordés dans l'enquête de 2001 figurent en particulier « *information, intérêt, connaissance* », « *valeurs, science, technologie* », « *responsabilité et contrôle des scientifiques* » et « *confiance* ». Pour le premier thème, les résultats montrent que les Européens s'estiment souvent mal informés sur la science et la technologie (deux tiers d'entre eux) alors que près de la moitié d'entre eux déclarent être intéressés par le sujet (médecine et environnement étant les secteurs mobilisant le plus l'attention). Pour le deuxième thème, « *les conséquences du développement scientifique et technique sont perçues de façon très diverse par le public européen : la lutte contre les maladies, l'amélioration de la vie quotidienne, l'intérêt du travail sont encore largement mis au bénéfice de l'activité scientifique. Le bilan général de la science (balance entre les effets positifs et conséquences nuisibles) demeure également positif. Mais l'on ne conçoit plus désormais que la science et la technologie puissent constituer des remèdes absolus à une série de problèmes dont une bonne part relève en réalité d'autres instances et notamment des politiques sociales ou d'environnement. ... Une très large majorité des Européens valorisent la recherche fondamentale d'abord si elle est destinée à développer de nouvelles technologies mais aussi si elle fait uniquement progresser la connaissance* » (p. 6). Parmi les résultats du troisième thème, il apparaît que « *les Européens sont très partagés sur le problème de la responsabilité des scientifiques ... Mais le désir de contrôle social de l'activité scientifique est aujourd'hui très répandu en Europe ... L'idée de contrainte est partout, même là où l'on s'attendait à plus de confiance à*

⁷⁵ Ces enquêtes d'origine institutionnelle sont présentées ici parmi les résultats de la recherche. L'apport de ce type de grande enquête est discuté dans la communauté scientifique car l'opposition entre méthodes sociologiques quantitative et qualitative reste vive. Pour de Cheveigné (2004), les Eurobaromètres sont issus des enquêtes américaines de « *scientific literacy* » se référant essentiellement à un savoir factuel. Les sondages menés en Europe, en France notamment, ont exploré tout autant les attitudes envers les sciences et techniques ou le degré de compréhension de la méthode scientifique que le simple savoir factuel (Boy, 1999 cité par de Cheveigné). Au-delà des limites des approches par sondage à questions fermées, de Cheveigné évoque des difficultés supplémentaires dans l'utilisation de telles techniques pour réaliser des comparaisons internationales. Parmi celles-ci, le problème de la langue apparaît essentiel car il soulève des difficultés de traduction et d'interprétation. Malgré ces limites, De Cheveigné conclut à « *la nécessité d'une ouverture internationale – qui ne passe pas uniquement par les chiffres* » ... et elle souligne « *la complémentarité des méthodes qualitatives et quantitatives, à manier toutes les deux avec les mêmes exigences de rigueur* » (p. 50).

l'égard des scientifiques, c'est-à-dire, par exemple, parmi ceux qui ont un niveau élevé de connaissances » (p. 7). Enfin, « les trois professions les plus estimées en Europe sont celles qui possèdent une dimension scientifique ou technique : les médecins en premier lieu (plus des deux tiers des réponses), puis les scientifiques (un peu moins de la moitié des réponses) et les ingénieurs (environ 30 %) » (p. 8).

L'enquête de 2008 visait, entre autres, à faire le point sur les attitudes générales à l'égard de la science et de la technologie et des questions liées à la recherche. Les auteurs du rapport notent que *« les citoyens européens appréhendent la science soit en essayant de donner des définitions conceptuelles de son objet ou plus rarement en faisant référence à la rationalité et à la rigueur de la méthode scientifique, soit fréquemment au travers des résultats de la recherche scientifique et des bénéfices concrets qui peuvent en résulter »* (p. 7). Pour les Européens, *« la science est une notion très valorisée et intimement liée à l'idée de progrès. Mais elle suscite en même temps des craintes et des réserves – celles des dérives éventuelles de son usage par l'homme »* (p. 7). Les auteurs constatent de plus *« que les attentes et les craintes dominantes se concentrent sur des sujets perçus comme touchant concrètement la vie des gens ou susceptibles de les toucher »* (p. 7).

Le dernier Eurobaromètre (2010) « Science and technology » compare notamment les résultats obtenus à ceux d'une enquête précédente (Eurobaromètre, 2005). *« The view that Europeans have about the image of science and technology appears clear and positive. However, Europeans have a less clear insight into the work of the scientist, what a scientist actually does, or the structure of the scientific community. Optimism about science and technology is not high and although it may bring benefits, many see that science and technology cannot solve all the world's problems. There is a general shift towards scepticism compared to the 2005 survey. ... Overall Europeans are now marginally less sensitive to the negative aspects of science and technology than they were in 2005, but they are also slightly less enthusiastic about the potential benefits of science and technology. »* (p. 157)

Pour Boy, cette représentation sociale à propos de la science chez les adultes est en partie la même chez les jeunes : vision positive des savants et un bilan plutôt ambigu des effets de la science. Boy (1992) ajoute qu'il *« existe très probablement une socialisation à la science différente selon les milieux sociaux, et cette socialisation différenciée contribue sans doute à modeler les dispositions de base à l'égard de la science »* (p. 12). Au niveau européen, un Eurobaromètre Flash (2008) montre que les jeunes ont un avis positif sur les sciences et la technologie. Un tiers environ des répondants sont fortement d'accord sur le fait que la science apporte plus de bénéfices que de nuisances. Par ailleurs, un nombre similaire pense tout aussi fortement que la science est trop influencée par le profit. Une majorité de répondants s'accordent à dire que l'intérêt des jeunes pour la science est essentiel à notre prospérité future. Les résultats montrent de plus que les jeunes hommes ont plus d'intérêt pour les sciences et la technologie que les jeunes femmes (75 % contre 59 %) et que les sujets scientifiques intéressent plus les jeunes un peu plus âgés, ceux disposant d'une meilleure éducation ou bien encore les citadins. Enfin, les jeunes hommes sont bien plus intéressés par les nouvelles inventions et technologie et les TIC alors que les jeunes femmes retiennent plutôt des sujets comme le corps humain et les découvertes médicales.

Ces résultats semblent confirmés dans une étude menée dans l'académie de Lille par Convert et al. (2005) qui montre que la science en général et les métiers scientifiques comme chercheur ou médecin continuent d'avoir une très bonne image auprès d'élèves de terminales scientifiques. Ces auteurs notent cependant que les représentations mentales associées aux mots « science » ou « chercheur » mériteraient d'être questionnées. Il semble en effet que l'image du chercheur chez les élèves interrogés soit plus proche de *« celle du médecin-biologiste de l'Institut Pasteur œuvrant pour les progrès de la thérapeutique que celle du mathématicien du CNRS ou du physicien du CERN »*. L'intérêt de ces élèves de terminale scientifique *« semble s'être déplacé sur le versant de la science qui apparaît le plus directement « utile », et tourné vers la résolution de problèmes humains, notamment la santé »*. (p. 26) L'explication avancée par les auteurs est de type socio-démographique. On

retrouve cette idée de représentation datée chez Gauthier, Garnier et Marinacci (2005) pour lesquelles la vision désuète des scientifiques chez les élèves amènerait ceux-ci à s'éloigner des carrières scientifiques car elles seraient réservées aux plus forts d'entre eux.

Giordan (2010) présente de son côté un point de vue radicalement différent. Pour lui, « *l'image sociale des sciences attire moins ; la science ne fait plus rêver. Les icônes populaires ne sont plus Pasteur, Marie Curie ou Einstein. En Europe, la croyance dans un lien indéfectible entre progrès scientifique et progrès humain s'est effondrée. ... De plus, les scientifiques se sont peu à peu coupés de leurs contemporains, faute d'avoir conduit une réflexion sur les implications philosophiques et éthiques de leurs travaux* » (p. 24).

De leur côté, Chastrette et Dumon (2007) montrent, en s'appuyant notamment sur des enquêtes menées par les industries chimiques⁷⁶, que l'image de la chimie dans le public est particulièrement mauvaise en Europe. L'image de la chimie comme science ou encore celle du chimiste seraient, elles aussi, peu favorables⁷⁷.

Certains chercheurs tentent d'expliquer l'origine de cette image plutôt négative de la science. Ainsi les relations entre chimie et société sont analysées d'un point de vue historique par Bensaude-Vincent (2004). Elle montre en particulier que « la dichotomie chimique ou naturel » que l'on retrouve comme représentation essentielle dans le grand public n'est pas due simplement à l'ignorance ou à l'irrationalité. « *C'est moins la chimie elle-même qui est en cause que le système économique et social dans lequel elle s'est développée* » (p. 24). A partir de l'exemple de l'Italie, Longo (2003) estime pour sa part que la science n'est plus populaire parce qu'elle est connue surtout à travers ses applications et qu'elle s'éloigne de la vie quotidienne. Cet éloignement est double : physique et culturel. Le modèle de développement économique italien, par exemple, joue un double rôle négatif dans la construction de l'image de la science. D'une part, il dévalue économiquement le travail scientifique (le commerce est plus rentable) et d'autre part, il délègue la production scientifique à d'autres pays. La connaissance scientifique s'éloigne ainsi de notre existence quotidienne. L'autre éloignement se situe sur le plan culturel. La diffusion de la culture scientifique s'appuie essentiellement sur les applications de la science, oubliant la réflexion théorique et philosophique sur le sens de la recherche scientifique. De plus, les sciences enseignées à l'école s'avèrent trop formalisées et trop dogmatiques.

Concernant l'image des sciences chez les jeunes, une étude de Schreiner et Sjoberg montre que cette question n'est pas liée à un manque d'intérêt ou de respect pour les sciences et la technologie (Schreiner & Sjoberg, 2007, cités par Osborne et Dillon, 2008). Mais elle serait plutôt liée au fait que les valeurs associées aux sciences et à la technologie ne correspondent pas à celles de la jeunesse contemporaine. La science n'est plus perçue comme une source de solution mais comme une source de menaces. De plus, pour ces auteurs, les jeunes actuels ont des styles de vie s'appuyant sur des valeurs (liberté, autonomie, créativité, initiative) s'accordant mal avec les valeurs perçues de la science.

Finalement, les attitudes envers les sciences dans la société apparaissent plutôt contrastées. Les représentations associées aux mots « sciences », « chercheur », « scientifique » utilisées dans les travaux de recherche mériteraient très certainement d'être approfondies pour expliciter les attitudes envers les sciences. Par ailleurs, Osborne et al. (2003) note une contradiction apparente entre la vision plutôt positive des sciences en général et les attitudes concernant les sciences à l'école, ce qui amène à s'intéresser aux études menées sur ce dernier thème.

⁷⁶ Le Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique (CEFIC) mène régulièrement des enquêtes d'opinion pour mieux connaître la perception de cette industrie en Europe. En France, l'Union des Industries Chimiques (UIC) réalise le même type d'enquête.

⁷⁷ Pour plus de détails, voir par exemple les comptes rendus du congrès « The Public Image of Chemistry in the XX^e century » organisé par la Commission for the History of Modern Chemistry, Division of the International Society for the History of Sciences (2004).

7.1.2.3 Attitudes envers l'enseignement des sciences

Celles-ci seraient beaucoup plus nuancées. Ainsi, les attitudes envers les sciences à l'école se caractériseraient par un sentiment d'hostilité, une valeur instrumentale liée à l'obtention d'un diplôme ou d'une future profession, un enseignement ressenti comme peu attrayant et trop difficile. Les principaux facteurs d'influence repérés en particulier par Osborne et al. (2003) et par Venturini (2006) à travers les différentes recherches menées sur le thème des attitudes envers les sciences à l'école sont les suivants :

- influence de la nature du curriculum : il semble y avoir une différence entre la science attendue en classe par les élèves et celle qui est enseignée (notamment en physique⁷⁸). L'utilisation du savoir enseigné en sciences physiques est, pour les élèves, limitée à de futures études scientifiques et sans objet hors de ce contexte (Boyer & Tiberghien, 1989). Ce facteur d'influence est aussi signalé par Osborne et al. (2003) qui indiquent que plusieurs études montrent chez les élèves une vision de la culture scientifique comme n'appartenant pas à la culture générale et ayant un intérêt limité ;
- influence de la nature de la discipline concernée : la plupart des études montrent que les attitudes les plus négatives se retrouvent à propos de la physique. Les sciences physiques ne provoquent pas un fort intérêt par elles-mêmes contrairement à d'autres disciplines (Boyer & Tiberghien, 1989). D'une manière générale, les sciences sont perçues comme une discipline difficile. La physique ne serait choisie que par les élèves doués dans cette matière ;
- influence du niveau d'étude : les attitudes se dégradent en même temps que l'élève progresse dans son cursus scolaire. Des études semblent montrer que cette dégradation est liée à l'enseignement des sciences et non à l'évolution de l'âge des élèves ;
- influence du genre⁷⁹ : l'attitude des filles vis-à-vis des sciences dans la société semble moins positive que celle des garçons. Les filles sont moins intéressées et moins attirées par les métiers scientifiques. Mais on ignore encore pour quoi les filles choisissent de ne pas suivre des études scientifiques. Peut-être une vision des connaissances nécessaires à la culture qui n'inclurait pas le domaine scientifique ? « *In short, that a knowledge of science has no intrinsic cultural value as knowledge, which is an essential component for the educated woman or man.* » (Osborne et al., 2003, p.1064). Le phénomène d'auto-censure expliquerait cette différence entre les garçons et les filles concernant le choix des matières scientifiques : les filles se perçoivent meilleures dans d'autres disciplines que les sciences. Mais d'autres recherches montrent au contraire que les filles choisissent de ne pas poursuivre des études scientifiques alors qu'elles sont compétentes et qu'elles sont conscientes de leur capacité à réussir.⁸⁰ Quant à l'influence du genre sur la nature de la discipline préférée, les études ne semblent pas montrer de consensus ;
- influence de l'environnement scolaire : cette influence serait importante. En particulier, il semble que la manière dont sont enseignées les sciences pose problème. Les élèves ne comprennent pas comment ce qu'ils ont à apprendre ou à

⁷⁸ De son côté, Eastes (2007) montre l'influence des programmes scolaires de chimie en France et les effets négatifs de l'enseignement de cette discipline sur l'image de la chimie auprès des étudiants et des citoyens ne l'ayant abordé qu'à travers leur scolarité.

⁷⁹ Voir par exemple Hulin (2002a, 2002b) pour la situation des filles dans l'enseignement scientifique français.

⁸⁰ L'introduction d'un enseignement de science intégré pourrait changer ce phénomène. Osborne et al. (2003) montre que le nombre de candidates pour les filières scientifiques à l'université augmente en Angleterre depuis quelques années (mise en place d'un enseignement de sciences intégrées au secondaire) mais moins dans les sciences physiques que dans les autres disciplines. L'influence de ce type d'enseignement des sciences reste à vérifier.

faire en classe peut avoir un sens dans leur vie (Dupin, 2009; Fourez, 2002; Giordan, 2010 ; Venturini, 2006). Gauthier et al. (2005) ajoutent que « *les pratiques éducatives rattachées aux sciences entrent également en ligne de compte sur l'opinion et le choix des élèves* » (p. 21). Les études montrent que les activités de discussion, d'interaction sociale, de débat et d'expérimentation sont très appréciées. De même, les encouragements de l'enseignant et les pratiques pédagogiques variées sont importants pour les élèves. Le rôle du professeur apparaît donc essentiel puisque c'est de lui que dépend l'organisation de l'environnement scolaire. Selon Osborne et al. (2003) et Garnier (2000) l'effet enseignant se montrerait plus important que les effets des curricula. La qualité de l'enseignement serait donc un facteur déterminant pour obtenir de bonnes attitudes envers les sciences⁸¹ ;

- influence de l'environnement social : les amis et les pairs, et dans une moindre mesure, la famille semblent avoir une influence notable. Boy (1992) insiste sur la responsabilité du milieu familial qui serait engagée (hiérarchisation des disciplines, préjugés sexistes conduisant à un rapport culturel à la science différenciée selon le sexe). Osborne et al. (2003) indiquent que les résultats des recherches concernant la relation entre classes socio-économiques et attitudes envers les sciences sont contradictoires. Par contre, les différences culturelles et sociales expliqueraient des attitudes différentes vis-à-vis de la science. Ainsi, des recherches citées par ces auteurs montreraient l'effet de l'origine ethnique sur le choix des études et des carrières scientifiques. Par exemple, les étudiants asiatiques choisissent plus facilement que les autres les carrières scientifiques, les parents intervenant beaucoup plus dans les choix d'orientation que dans les pays occidentaux. De plus, le rapport à la connaissance et à la culture est différent suivant les origines, la culture scientifique étant moins importante dans la culture européenne, notamment dans les classes sociales élevées ;
- relations entre attitudes et réussite : une relation importante entre attitude positive et une bonne réussite aux évaluations a été établie dans certaines recherches mais d'autres résultats signalés par Méheut (2006) et Osborne et al. (2003) semblent contradictoires.

Finalement, pour Venturini (2006) « *un large consensus se dégage sur certains résultats, même si l'incertitude qui pèse sur les méthodologies interroge sur leur validité : l'attitude positive envers les sciences diminue avec l'âge et les garçons ont une attitude plus positive que celle des filles ; l'environnement scolaire a beaucoup d'importance, tout comme la nature du curriculum, pour lequel l'existence des aspects applicatifs a une influence positive ; la physique est la discipline qui semble cristalliser le plus les problèmes* » (p. 88). On retrouve ainsi une partie des raisons avancées pour expliquer la désaffection pour les études scientifiques évoquées dans le chapitre précédent.

Méheut (2006) ajoute que des travaux (Häussler et al., 1998, cités par Méheut, 2006) ont permis de dégager trois profils d'élèves : un profil qualifié de « *technico-scientifique* », un profil « *humaniste* » et un profil « *citoyen* ». « *Le premier groupe (environ un quart des élèves) est caractérisé par un fort intérêt pour l'entreprise intellectuelle scientifique, les objets et métiers techniques ; il est constitué majoritairement de garçons (4/5). Le deuxième (un peu plus de la moitié des élèves) est intéressé principalement par la compréhension des phénomènes naturels et les retombées pour l'humanité ; il comprend à part égales garçons*

⁸¹ Il est donc nécessaire de s'appuyer sur un enseignant spécialiste de sa discipline, enthousiaste, proposant des leçons stimulantes, etc. Osborne et al. (2003) signalent que cela peut poser problème pour les disciplines intégrées de certains curricula : un seul enseignant ne peut pas être spécialiste de plusieurs disciplines à la fois. C'est le cas dans l'enseignement actuel de la physique en Angleterre où les enseignants ne sont pas assez spécialistes de cette discipline et manquent d'enthousiasme pour cette matière. La qualité de l'enseignement et de l'apprentissage proposés s'avère faible. Ces auteurs montrent, à partir de l'exemple d'études menées en Écosse que l'enseignement séparé semble plus efficace pour augmenter l'intérêt des élèves pour la physique.

et filles. Le troisième (environ un quart des élèves) s'intéresse principalement à l'impact de la physique sur la société ; il s'agit majoritairement de filles (3/4). Les différences liées au sexe apparaissent donc nettement pour les premier et troisième profils, le deuxième étant également réparti entre garçons et filles, et le plus stable en termes d'âge ; on note en revanche de nettes diminutions du premier profil et une augmentation du troisième avec l'âge » (p. 65).

Ces résultats de travaux sont à rapprocher de ceux cités par Osborne et Dillon (2008). Ainsi, une recherche menée par Sjoberg et Schreiner (Sjoberg & Schreiner, 2005, cités par Osborne & Dillon, 2008) analyse les réponses d'élèves norvégiens à l'enquête ROSE et montre l'existence de cinq profils d'élèves présentant des systèmes de valeurs différents. Pour l'un d'entre eux, où les garçons sont majoritaires, la technologie exerce une grande fascination. Pour un autre, où les filles sont cette fois-ci majoritaires, les élèves veulent travailler avec les autres. On retrouve en partie ces résultats dans le travail de Haste (Haste, 2004, cité par Osborne & Dillon, 2008) qui étudie les valeurs et les croyances d'étudiants de 11 à 21 ans à propos des sciences et de la technologie. Elle identifie quatre groupes d'individus : les « Green » (majoritairement des filles de moins de 16 ans) porteurs d'inquiétudes concernant l'environnement et envisageant une carrière scientifique ; les « Techno-investor » (majoritairement des garçons) enthousiastes à propos de la technologie et des bienfaits de la science, faisant confiance à la fois aux gouvernements et aux scientifiques ; les « Science-orientated » intéressés par les sciences et pensant que la « manière de raisonner en science » peut-être largement appliquée ; les « Alienated from science » (majoritairement des filles et des jeunes femmes de plus de 16 ans) qui trouvent la science ennuyeuse, qui sont sceptiques sur ses potentialités et qui n'ont pas l'intention de poursuivre une carrière scientifique.

De leur côté, Montpied et al. (2007), réalise l'analyse statistique des résultats d'un questionnaire bâti sur le modèle de ROSE et identifient six profils d'attitudes à l'égard des sciences et des sciences enseignées. Ils s'intéressent ensuite aux logiques adoptées par les élèves face aux sciences car « celles-ci fondent les lois de régulation de la motivation » (p. 275) et permettent d'inférer une correspondance avec les niveaux d'engagement dans l'apprentissage des sciences. Cette étude met ainsi en évidence plusieurs facteurs intervenant dans la motivation des élèves de la population interrogée :

- le temps : les élèves ont besoin de temps pour se sentir dans un état de contrôle et de sécurité ;
- les stratégies d'apprentissage : « à l'âge considéré, l'élève est capable d'analyser ses stratégies de travail en sciences et certains d'entre eux ont conscience que celles-ci sont une cause d'échec » (p. 277). Les auteurs notent à ce propos que l'aide fournie en classe n'est peut-être pas suffisante dans des disciplines recourant à des raisonnements complexes nécessitant bien plus qu'un entraînement de la mémoire ;
- les difficultés d'usage du langage scientifique : à cet âge, « l'élève peut mal vivre la perte de contrôle de sa capacité à s'exprimer avec le langage adéquat et exact ... le prendre en charge comme un langage en soi, éviterait sûrement des découragements inappropriés à l'égard des sciences » (p. 277) ;
- la frustration au niveau des compétences, de l'autonomie et de l'accomplissement : un sous-groupe d'élèves, « a priori positifs sur les sciences en général et dans le cadre de la scolarité » (p. 278) car souvent engagés dans une filière scientifique, semble vivre des émotions suffisamment négatives en classe de science pour ne plus envisager de futures études scientifiques.

Les auteurs concluent en faisant l'hypothèse que des pratiques pédagogiques de type constructiviste devraient aider l'expression et la satisfaction des besoins identifiés (autonomie, sécurité, compétence et accomplissement) et modifier ainsi la mobilisation des élèves.

Des travaux complémentaires (Häussler & Hoffman, 2000, cités par Méheut 2006) portant sur le point de vue des experts (scientifiques, ingénieurs, enseignants) montre « *un consensus sur l'importance à donner dans l'enseignement scientifique aux implications socio-économiques et à la préparation à un métier, et des divergences, un groupe mettant l'accent sur les concepts et les méthodes, l'autre davantage sur les aspects techniques et pratiques* » (p. 65). Méheut ajoute que « *les élèves, eux, manifestent un fort intérêt pour les aspects socio-économiques, pratiques et émotionnels, ce qui ne correspond pas au curriculum traditionnel. Ces résultats ont été réinvestis dans la conception d'unités d'enseignement dont les bénéfices cognitifs et affectifs à moyen terme ont été mis en évidence, particulièrement pour les filles* ».

7.1.3 Attitudes des élèves à l'égard des sciences : PISA 2006

Le Programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA), créé à l'initiative de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) en 1997, vise à recueillir des données pour étudier, dans un cadre conceptuel faisant l'objet d'un consensus, les résultats des systèmes éducatifs en termes d'acquis des élèves. L'enquête PISA 2006 (OCDE, 2006b, 2007) concerne 56 pays et régions, dont les 30 membres de l'OCDE. En plus de l'évaluation des connaissances et des compétences en sciences des élèves, cette étude a aussi recueilli des données sur les attitudes des élèves à l'égard des sciences et sur leur engagement dans ce domaine, dans le cadre des épreuves cognitives et d'un questionnaire contextuel mis en place à cette occasion.

7.1.3.1 PISA 2006 : attitudes et engagement des élèves envers les sciences

Les attitudes sont en effet « *considérées comme une composante majeure de la culture scientifique et renvoient aux convictions des élèves, à leur motivation et à leur perception de leurs capacités personnelles* » (OCDE, 2007, p 130). PISA 2006 s'est intéressé aux attitudes des élèves envers les sciences dans plusieurs domaines : « *la valeur accordée à la démarche scientifique* », leur « *motivation pour l'apprentissage des sciences* », leur « *intérêt pour les sciences* » et leur « *responsabilité vis-à-vis des ressources et de l'environnement* ». L'enquête a aussi étudié « *leur motivation pour l'apprentissage des sciences* ». Selon le rapport, ces domaines doivent permettre de « *dresser un profil général des élèves : la mesure dans laquelle ils apprécient les sciences en général, leurs convictions personnelles à l'égard de l'apprentissage des sciences, leurs attitudes à l'égard des sciences et la valeur qu'ils leur accordent et, enfin, la responsabilité qu'ils assument dans des problèmes nationaux et internationaux qui ont des répercussions nationales et mondiales* ». Ensemble, les indices déterminés « *montrent l'engagement envers les sciences de tous les élèves, y compris ceux qui n'aspirent pas à une carrière scientifique, même si l'intérêt pour les sciences est selon toute vraisemblance le facteur le plus déterminant dans le choix d'une profession scientifique* » (OCDE, 2007b, p. 130).

Le concept d'attitude n'est pas présenté de manière explicite mais le cycle PISA 2006 se fonde sur la définition du domaine affectif dans l'éducation scientifique proposée par Klopfer (Klopfer, 1976, cité par OCDE, 2007b) ainsi que sur une revue de littérature (par exemple : Gardner, 1975; Schibeci, 1984, cités par OCDE, 2007b) sur les attitudes (OCDE, 2006b) plus anciennes que les travaux de Osborne et al. (2003) et ceux de Venturini (2004) déjà cités.

La dimension « *intérêt pour la science* » est étudiée « *en raison de la relation bien établie entre intérêt et rendement scolaire, décisions prises en matière de choix de programmes d'études ou de carrières professionnelles et apprentissage tout au long de la vie* » (OCDE, 2006b, p. 39). Mais le document note, tout comme Osborne et al. (2003) et Venturini (2006), que ce lien de cause à effet est encore discuté par les recherches en cours.

La dimension « valeur accordée à la démarche scientifique » est étudiée, quant à elle, car elle constitue « *un objectif fondamental de l'enseignement des sciences* » (OCDE, 2006b, p. 39). Pour PISA 2006, cette valeur accordée à la démarche scientifique « *implique que l'élève estime important, dans des situations de la vie impliquant les sciences, que les moyens utilisés pour recueillir des données soient scientifiques, qu'il valorise la pensée créative, les raisonnements rationnels, l'esprit critique et la communication des conclusions que l'on a tirées* » (OCDE, 2006b, p. 40).

La dimension « motivation pour l'apprentissage des sciences » est introduite dans l'étude car la façon dont « *les élèves perçoivent leurs capacités personnelles en constitue une part importante de leur engagement à l'égard des sciences* » (OCDE, 2007b, p. 131). En particulier, pour les auteurs du rapport, des travaux de recherche montreraient que cette perception des capacités personnelles en sciences dépend du genre, ceci pouvant expliquer les écarts de performances et de motivation observés entre les sexes en sciences.

Enfin, la dimension « responsabilité à l'égard des ressources et de l'environnement » appartient aux « *préoccupations contemporaines au niveau international et s'avère pertinente pour l'économie* » (OCDE, 2006b, p. 40). Le rapport précise que de nombreuses recherches existent dans ce domaine depuis une trentaine d'années.

PISA 2006 ambitionne aussi d'étudier la corrélation entre les attitudes des élèves et leurs performances en sciences pour compléter les résultats de recherche sur ce thème qui apparaissent contradictoires actuellement.

7.1.3.2 Principaux résultats concernant les attitudes des élèves

Nous proposons ci-dessous une synthèse des résultats concernant les attitudes des élèves de 15 ans à l'égard des sciences, présentés et commentés dans le rapport PISA 2006 (OCDE, 2007b) et nous situons plus particulièrement les élèves français par rapport aux autres lorsque les données apparaissent significatives.

Valeur accordée à la démarche scientifique

Dans les pays de l'OCDE, les élèves qui ont participé au cycle PISA 2006 déclarent accorder une grande valeur aux sciences et valoriser la démarche scientifique : 93 % des élèves jugent que les sciences sont importantes pour comprendre le monde naturel et 92 % d'entre eux estiment que les avancées des sciences et de la technologie améliorent les conditions de vie des gens ou que les sciences sont utiles à la société (87%).

Toutefois, une proportion non négligeable d'élèves ne convient pas que les avancées scientifiques et technologiques soient porteuses de progrès en général (25%) ou qu'elles aient un effet positif sur l'économie (20%). Concernant le cas de la France, ces proportions sont beaucoup plus élevées (respectivement 35 % et 39 %). En fait, les rapporteurs notent qu'un « *nombre significatif d'élèves établissent une distinction entre la contribution des sciences à l'amélioration de la productivité et de la compréhension technique et sa contribution plus générale à la société et à l'économie* » (OCDE, 2007b, p. 136). Le rapport révèle aussi « *qu'une plus grande valorisation générale des sciences va partout de pair avec des performances plus élevées en sciences* » (p.137). Les auteurs du rapport notent une corrélation positive entre la valorisation générale des sciences et le milieu socioéconomique des élèves dans tous les pays participants. Cette valeur accordée aux sciences en général ne dépend pas du sexe sauf pour quelques pays comme la France où les élèves de sexe masculin sont légèrement plus nombreux.

Interrogés sur des démarches scientifiques à propos de sujets précis dans le cadre des épreuves cognitives de sciences, les élèves déclarent y accorder une grande valeur. Toutefois, la valorisation des sciences varie « *selon qu'il s'agit d'apporter son soutien à la démarche scientifique en général ou de se fier totalement aux sciences pour enrichir les connaissances* » (p.141) : 75 % des élèves jugent que les sciences les aident à comprendre

les choses qui les entourent alors que 57 % seulement d'entre eux estiment que les sciences ont beaucoup d'importance à leurs yeux. Ajoutons que la valeur accordée à la démarche scientifique est, elle aussi, en corrélation positive avec la performance en sciences dans tous les pays participants.

Il ressort des résultats de l'étude *« que la valorisation personnelle des sciences et du raisonnement scientifique se distinguent de l'appréciation des sciences en général. Les élèves peuvent être convaincus de l'importance des sciences en général, sans pour autant faire le lien avec leur vie et leur comportement ... Dans la majorité des pays, la valorisation personnelle des sciences tend à être plus grande chez les élèves issus de milieux socioéconomiques plus favorisés »* (p.141). De plus, les élèves qui valorisent beaucoup les sciences à titre personnel ont obtenu de meilleurs résultats aux épreuves de sciences dans la plupart des pays.

Perception des capacités personnelles en sciences

Pour le rapport PISA 2006, *« il est établi que la perception des capacités personnelles a un impact sensible, d'une part, sur la manière dont les individus se fixent des objectifs et choisissent leur stratégie d'apprentissage et, d'autre part, sur leurs résultats »* (OCDE, 2007b, p.143). Le cycle PISA 2006 a donc cherché à déterminer *« dans quelle mesure les élèves s'estiment capables de mener des tâches à bien et de surmonter des difficultés (indice de perception des capacités personnelles en sciences) et évaluer leur perception de leurs compétences académiques en sciences (indice de perception de soi en sciences »* (p.143).

D'après les résultats de l'étude, les élèves déclarent avoir une bonne perception de leurs capacités en sciences, mais des différences s'observent selon le type de tâches. *« 76 % des élèves se disent persuadés de pouvoir expliquer pourquoi les tremblements de terre sont plus fréquents dans certaines régions que dans d'autres »* (p.145). Mais ils ne sont plus que 51 % à déclarer qu'ils arriveraient à expliquer en quoi des faits nouveaux pourraient les amener à revoir leur jugement sur l'existence de la vie sur Mars. *« Dans la plupart des pays, l'indice de perception des capacités personnelles en sciences ne varie pas entre les sexes »* (p.145). De plus, une relation positive entre la performance des élèves en sciences et leur perception de leurs capacités personnelles dans cette matière est mise en évidence. Dans quelques pays comme la France, cette perception est nettement associée à une meilleure performance en sciences.

« Contrairement à la perception des capacités personnelles, qui est fonction de la conviction qu'ont les élèves de réussir à effectuer des tâches scientifiques spécifiques, la perception de soi correspond à l'idée générale que les élèves se font de leurs compétences académiques » (p.146). Ainsi, les résultats de l'enquête montrent que 65 % des élèves interrogés déclarent répondre correctement aux questions des contrôles de sciences à l'école, mais 47 % seulement d'entre eux jugent que les sciences sont une matière « facile » pour eux. De plus, les résultats montrent que la perception de soi varie entre les sexes mais avec des écarts modérés. Dans plusieurs pays dont la France, les écarts favorables au sexe masculin sont cohérents en mathématiques et en sciences. Enfin, la relation entre la perception de soi et la performance en sciences est positive dans tous les pays de l'OCDE.

Intérêt pour les sciences

Selon les auteurs du rapport, plusieurs raisons amènent à s'intéresser à l'analyse de l'intérêt que les élèves portent aux sciences. En effet, *« la motivation et l'engagement sont souvent considérés comme des « moteurs » de l'apprentissage »*. De plus, la motivation intrinsèque affecte *« l'intensité et la pérennité de l'engagement à l'égard de l'apprentissage ainsi que le degré de compréhension des acquis. Il est établi que cet effet est largement indépendant de la motivation générale des élèves à l'idée d'apprendre. Ainsi, un élève qui s'intéresse aux sciences et qui, de ce fait, tend à étudier avec zèle n'éprouve pas forcément une grande*

motivation à l'égard de l'apprentissage en général, et inversement.... Par ailleurs, la motivation des élèves intervient dans leurs ambitions professionnelles. Ainsi la motivation prospective en sciences peut être un indicateur probant de la proportion d'élèves susceptibles de suivre une formation scientifique ou d'embrasser une profession à caractère scientifique » (OCDE, 2007b, p.149).

La motivation intrinsèque des élèves pour l'apprentissage des sciences est déterminée dans l'étude à partir de la mesure de trois indices : « l'intérêt général pour les sciences », « le plaisir apporté par les sciences » et « l'intérêt pour l'apprentissage de nouveaux savoirs et savoir-faire en sciences ». Les résultats obtenus montrent que la majorité des élèves prend plaisir à enrichir ses connaissances en sciences mais cet intérêt varie sensiblement selon les disciplines et les sujets abordés.

« Dans les pays de l'OCDE, les élèves issus de milieux socioéconomiques plus favorisés tendent à s'intéresser davantage aux sciences » (p.150). Cette tendance est particulièrement marquée dans certains pays dont la France. De même, « les élèves qui portent davantage d'intérêt aux sciences ont obtenu de meilleurs résultats aux épreuves PISA de sciences » (p.152). Cette corrélation est forte dans quelques pays comme la France. Mais les auteurs du rapport précise que « la causalité de la relation est complexe et difficile à établir : l'intérêt pour les sciences et la performance peuvent se renforcer mutuellement et d'autres facteurs, dont le milieu social des élèves et des établissements, peuvent aussi intervenir » (p.152). Le rapport précise enfin que dans la plupart des pays il n'y a pas de différence significative entre les garçons et les filles concernant l'intérêt général pour les sciences.

En moyenne, 67 % des élèves déclarent prendre du plaisir à acquérir de nouvelles connaissances en sciences et « 63 % d'entre eux trouvent l'acquisition de connaissances scientifiques agréables et reconnaissent que cela les intéresse » (p.154). Cette déclaration est à mettre en relation avec le milieu socioéconomique. Cela est particulièrement manifeste dans quelques pays, dont la France, où l'indice de plaisir apporté par les sciences est plus élevé chez les élèves issus de milieux plus favorisés que chez ceux issus de milieux moins aisés. Il ressort également des résultats que l'indice de plaisir apporté par les sciences est corrélé à la performance en sciences et qu'il ne dépend pas vraiment du sexe.

72 % des élèves interrogés déclarent qu'il est important d'avoir de bons résultats en sciences. « Toutefois, les élèves dont le programme comporte encore des cours de sciences tendent à attacher moins d'importance à l'obtention de bonnes notes qu'en mathématiques et en langue de l'évaluation » (p. 156).

La motivation extrinsèque des élèves pour l'apprentissage des sciences est déterminée dans l'étude à partir de la mesure de deux indices : « la motivation instrumentale pour l'apprentissage des sciences » et « la motivation prospective pour l'apprentissage des sciences ». Pour les auteurs du rapport, le premier indice apparaît comme « une variable prédictive probante de la performance et du choix de l'orientation scolaire et professionnelle » (p. 157). La majorité des élèves qui ont participé au cycle PISA 2006 ont déclaré que les sciences leur étaient utiles (67 % en moyenne) et que ce qu'ils apprennent en sciences améliorera leurs perspectives de carrière professionnelle (61 %) ou les aidera dans leur futur métier (63 %). Toutefois, seulement 56 % d'entre eux jugent que les sciences sont utiles pour la suite de leurs études. La motivation instrumentale tend à être plus grande chez les élèves des milieux socioéconomiques plus favorisés que ceux des familles moins aisées dans une majorité de pays. De plus, il n'y a pas de différence significative entre les filles et les garçons concernant cette motivation extrinsèque. Enfin, la relation entre la performance en sciences et la motivation instrumentale pour l'apprentissage des sciences est positive dans une majorité de pays.

Selon les résultats obtenus, 37 % des élèves ont déclaré vouloir exercer une profession à caractère scientifique, 27 % aimeraient participer à des projets scientifiques à l'âge adulte et 21 % seulement ont déclaré vouloir passer leur vie dans un secteur scientifique de pointe. Dans la plupart des pays de l'OCDE, « la proportion d'élèves faisant état d'une motivation

prospective pour l'apprentissage des sciences ne dépasse pas la barre des 50 % » (p. 159). Alors que les données de l'OCDE (2007c) montrent que la proportion des élèves de sexe féminin reste faible dans certains domaines scientifiques contrairement aux autres matières, le cycle PISA 2006 montre que « les filles sont aussi nombreuses que les garçons à déclarer vouloir exercer une profession à caractère scientifique, suivre une formation scientifique à l'issue du deuxième cycle de l'enseignement secondaire, participer à des projets scientifiques ou passer leur vie à faire des sciences » (OCDE, 2007b, p. 159). La motivation prospective pour l'apprentissage des sciences est corrélée de manière positive avec la performance en sciences dans tous les pays de l'OCDE sauf le Mexique. Cette relation est importante dans des pays comme la France. En moyenne, 25 % des élèves interrogés envisagent d'exercer une profession à caractère scientifique⁸² à l'âge de trente ans. De plus, « contrairement aux projections sur l'utilisation des sciences à l'âge adulte, le cycle PISA 2006 révèle peu de différences entre filles et garçons quant aux professions qu'ils envisagent d'exercer à l'avenir » (p. 161). Les résultats montrent de plus que « le fait que les parents travaillent ou non dans un secteur d'activité en rapport avec les sciences semble n'avoir guère d'influence sur les aspirations professionnelles de leurs enfants » (p. 162). Toutefois, les élèves dont l'un des parents exerce une profession à caractère scientifique obtiennent de meilleurs résultats aux épreuves de sciences dans tous les pays sauf au Japon. « A titre de comparaison, ceux qui obtiennent les résultats les moins élevés sont ceux qui écartent l'hypothèse d'exercer une profession à caractère scientifique et dont aucun des parents ne travaille dans un secteur d'activité en rapport avec les sciences » (p. 162).

Enfin, une minorité d'élèves a déclaré participer régulièrement à des activités en rapport avec les sciences (émissions scientifiques à la télévision ou à la radio, magazines ou livres scientifiques, club de sciences). Dans la majorité des pays, le milieu socioéconomique est en étroite corrélation avec la participation des élèves à ce type d'activités. Le rapport note que dans certains pays comme la France, « les élèves issus de milieux socioéconomiques moins favorisés ont nettement moins de chances de se livrer régulièrement à des activités en rapport avec les sciences, par exemple lire des revues scientifiques ou des articles scientifiques dans les journaux » (p. 166).

Responsabilité vis-à-vis des ressources et de l'environnement

Pour les auteurs du rapport, « la culture scientifique renvoie aussi aux facultés de compréhension et de réflexion dont les individus ont besoin pour prendre des décisions personnelles et participer adéquatement à l'élaboration de politiques qui ont un impact sur leur vie » (OCDE, 2007b, p. 166). Dans le cycle PISA 2006, les élèves ont été amenés à exprimer leurs sentiments à propos d'une série de problèmes environnementaux dans le questionnaire contextuel.

En moyenne, dans les pays de l'OCDE, moins de 5 % des élèves ont déclaré que ces problèmes n'étaient pas une source d'inquiétudes pour eux. Toutefois, les réponses sont très différentes selon les pays lorsqu'il s'agit de préciser si l'inquiétude les concerne personnellement ou si elle concerne leur pays. La corrélation entre le degré d'inquiétude suscitée par les problèmes environnementaux et le milieu socioéconomique est faible, notamment en France. De même, il n'y a pas de corrélation avec les performances en sciences.

De plus, le degré de sensibilisation varie sensiblement selon la nature des problèmes environnementaux. Ainsi 73 % déclarent être au courant des conséquences de la déforestation en vue de l'exploitation des sols alors que seulement 35 % déclarent être au courant de l'utilisation des organismes génétiquement modifiés (mais cette proportion

⁸² Conformément à la Classification internationale des professions (CITP-88), les professions à caractère scientifique sont celles en rapport avec les sciences, au-delà de la conception traditionnelle du chercheur en laboratoire ou à l'université. Il est à noter que cette classification n'inclut pas les mathématiques.

dépasse la barre des 50 % en France). Il s'avère que « *les élèves issus de milieux socioéconomiques plus favorisés sont plus sensibilisés aux problèmes environnementaux dans tous les pays* » (p. 168), l'impact étant particulièrement grand dans quelques pays comme la France. « *Les résultats du cycle PISA 2006 donnent également à penser que le degré de sensibilisation des élèves aux problèmes environnementaux dépend implicitement de leurs connaissances scientifiques* » (p. 168). Cette forte corrélation entre le degré de sensibilisation et la performance en sciences dans tous les pays participants « *montre que les élèves très performants en sciences tendent à être plus conscients des menaces environnementales, certes, mais il suggère aussi l'inverse, à savoir que de nombreux citoyens risquent de les ignorer à cause de leur manque relatif de culture scientifique* » (p. 168).

Enfin, la majorité des élèves déclarent estimer que les problèmes environnementaux présentés vont s'aggraver ou rester à peu près les mêmes durant les vingt prochaines années. Ajoutons que plus les élèves sont compétents en sciences, moins ils sont optimistes à cet égard. C'est par exemple le cas en France.

7.1.3.3 Limites méthodologiques

D'après les auteurs du rapport, le recueil et le traitement des données de l'enquête sont contrôlés au maximum. Par exemple, les tests sont administrés dans chaque pays à un échantillon de 5000 à 10000 élèves prélevé dans au moins 150 établissements différents (OCDE, 2006b). Mais la méthodologie employée par l'étude repose sur la détermination d'indices d'attitude basés sur des déclarations des élèves. Or, comme le notent d'ailleurs les auteurs du rapport, certains facteurs culturels peuvent influencer la façon de répondre aux questions. De plus, les attitudes des élèves envers les sciences reposent sur de nombreuses sources d'influence (Osborne et al., 2003; Venturini, 2006) comme l'environnement scolaire, l'environnement social et plus généralement la culture de leur pays. Il convient donc d'être prudent lors de l'interprétation des indices. C'est le cas lors de la comparaison des indices entre les pays « *car des élèves issus de contextes culturels différents peuvent exprimer des sentiments différents lorsqu'ils répondent aux items d'attitude, par exemple sur leur intérêt pour les sciences* » (OCDE, 2006b, p. 134). De plus, certains indices se trouvent biaisés dans les pays à faible taux de scolarisation où des proportions relativement fortes d'élèves déclarent valoriser les sciences et être motivés à l'idée d'acquérir de nouvelles connaissances en sciences.

Concernant la première catégorie d'indices – la perception des capacités personnelles, la sensibilisation aux problèmes environnementaux et la valorisation générale des sciences - le rapport note que « *la relation entre les indices et la performance des élèves est cohérente au sein des pays de l'OCDE et dans l'échantillon global de l'OCDE* » (p. 134). Pour l'autre série d'indices – « *la perception de soi en sciences, la valorisation personnelle des sciences, l'intérêt général pour les sciences, le plaisir apporté par les sciences, la motivation instrumentale pour l'apprentissage des sciences, la motivation prospective pour l'apprentissage des sciences, la participation à des activités scientifiques, l'optimisme à l'égard des problèmes environnementaux et la responsabilisation à l'égard du développement durable – la relation avec la performance des élèves est cohérente au sein des pays mais pas entre les pays* » (p. 134).

Au-delà de la validité des résultats, retenons que Rochex (2006) invite à la prudence dans l'usage de ceux-ci. En effet, les organismes intergouvernementaux, gouvernementaux, les experts et les décideurs politiques ne considèrent pas les résultats et les indicateurs mis en œuvre dans ce type d'enquête internationale comme des outils de connaissance scientifique mais comme des moyens d'infléchir les politiques éducatives et les fonctionnements des systèmes éducatifs. Il convient donc d'apporter des éclairages complémentaires pour nuancer et critiquer ces travaux, leurs fondements théoriques et idéologiques, comme leurs méthodologies et leurs résultats. Deux numéros de la Revue française de pédagogie (Mons,

2008; Rochex, 2006) offrent ainsi une vision à la fois positive et critique de l'usage de la comparaison internationale, dont PISA est un exemple d'investigation quantitative, dans l'évaluation des politiques éducatives. Concernant la France, Baudelot et Establet (2009) ajoutent que même si les enquêtes PISA ne font pas l'unanimité, le problème principal provient du fait que les résultats sont surtout connus des experts et restent pour l'essentiel absents du débat public sur l'école.

7.1.3.4 Conséquences et recommandations

Malgré les réserves à propos de l'interprétation des indices d'attitudes évoqués précédemment, les auteurs du rapport notent, à l'attention des décideurs, que les attitudes très positives des élèves à l'égard des sciences sont « *un atout dont l'école peut tirer parti pour améliorer l'enseignement et l'apprentissage* » (OCDE, 2006b, p. 176).

L'existence d'une « *relation positive, mais modérée, entre la performance en sciences et trois attitudes à l'égard des sciences, en l'occurrence l'intérêt général pour les sciences, le plaisir que procurent les sciences et la perception de soi en sciences* » (p. 177) amène les auteurs à proposer des mesures notamment pour développer l'intérêt des élèves à propos de sujets scientifiques spécifiques et améliorer des attitudes moins positives. En effet, d'après les résultats de l'étude, certains points faibles demeurent :

- « *Les élèves tendent à croire davantage au potentiel technologique des sciences qu'à leurs vertus sociales ;*
- *Les élèves se montrent en général positifs dans leurs réponses aux questions sur le plaisir apporté par les sciences mais ils ne sont pas plus de 43 % à déclarer que résoudre des problèmes de sciences leur plaît ;*
- *Une minorité seulement des élèves envisagent de s'engager dans une filière scientifique à l'avenir ;*
- *Une minorité seulement des élèves participent régulièrement à des activités scientifiques organisées dans un cadre non scolaire ;*
- *Les élèves sont très préoccupés par les problèmes environnementaux et ont la ferme volonté de s'y attaquer mais ils sont pessimistes quant à leur évolution. »* (p. 177)

On retrouve dans les mesures préconisées une partie de celles évoquées dans le chapitre 6 comme « *rendre les sciences plus passionnantes* ».

Le rapport s'intéresse finalement aux groupes d'élèves dont les attitudes envers les sciences sont moins positives de façon à cibler les mesures à leur égard. Ainsi, les résultats de l'étude « *ne permettent pas de déterminer si le manque de culture scientifique est la cause ou l'effet chez les élèves qui n'ont pas une bonne opinion de leurs capacités personnelles, mais la relation est suffisamment forte pour conclure qu'amener les élèves à croire en leur capacité à résoudre des problèmes scientifiques peut largement contribuer à améliorer la performance en sciences* » (p. 178). De plus, des attitudes plus positives amènent, en général, une augmentation du score sur l'échelle de culture scientifique PISA. Le milieu socioéconomique joue également un grand rôle dans la relation entre attitudes et performance en sciences. Par exemple, « *les élèves des milieux plus aisés sont nettement plus susceptibles d'accorder de la valeur aux sciences en général* » (p. 178). Enfin, concernant les différences d'attitudes entre les sexes, le rapport montre que les filles ont « *tendance à avoir une moins bonne image de soi en sciences alors que leur niveau de compétence en sciences est similaire dans la plupart des pays* » (p. 178). Mais la plupart des autres attitudes à l'égard des sciences ne varient pas entre les sexes d'une manière cohérente dans tous les pays. Des différences significatives s'observent tout de même dans certains pays comme la France. Cependant, « *la propension générale des élèves à envisager de s'engager dans une filière scientifique ne varie pas entre les sexes* » (p. 178). Les auteurs y voient « *le signe avant-coureur d'une grande évolution sociale positive, étant*

donné la surreprésentation actuelle du sexe masculin dans la main d'œuvre scientifique » (p. 178).

7.1.4 L'implication de l'élève dans l'apprentissage de la physique : rapports aux savoirs de la physique

Reprenant à son compte les constats signalés par Caillot (2001) sur les limites de l'approche traditionnelle de la didactique considérant l'élève comme purement épistémique, Venturini (2006) développe un cadre théorique prenant « *en compte le sujet qui apprend en le considérant comme pluridimensionnel* » permettant ainsi « *de mieux comprendre, d'un point de vue didactique, ce qu'il se passe réellement dans une classe au niveau des apprentissages disciplinaires* » (p. 125). Prenant appui sur l'approche socio-anthropologique (Charlot, Bautier & Rochex, 1992; Charlot, 1997), cet auteur étudie les rapports aux savoirs de la physique dans l'enseignement secondaire (2005) et définit ainsi, pour des élèves de seconde ou de troisième, cinq rapports à la physique idéal-typiques respectivement caractérisés par :

- une mobilisation forte *en*⁸³ physique, avec une centration forte sur les savoirs, surtout pour comprendre le monde ;
- une mobilisation significative *en* physique surtout pour son utilité stratégique vis-à-vis des études ;
- une faible mobilisation tant *en* physique que *sur* la physique pour des raisons utilitaires liées aux études peu marquées ;
- une mobilisation *sur* la physique à des fins essentiellement utilitaires, sans efficacité apparente du point de vue des apprentissages ;
- l'absence de mobilisation *sur* la physique, et par conséquent une non-mobilisation en physique.

Parmi les autres résultats repérés par Venturini (2006) signalons l'importance de la composante utilitaire dans les rapports aux savoirs de la physique. « *Il semble donc que les élèves ou les étudiants soient généralement amenés à travailler en physique surtout par utilité (en vue de débouchés professionnels, ou pour assurer la moyenne trimestrielle), et non pour le plaisir personnel que pourrait procurer (au moins de temps en temps !) l'étude de cette discipline, ou pour la culture générale qui pourrait en résulter* » (p. 133). Venturini ajoute que cela « *va probablement de pair avec la perception majoritaire du caractère purement scolaire des savoirs enseignés en physique* » (p. 133). De plus, la faible proportion repérée d'élèves mobilisés en physique décroît avec le temps.

Concernant l'articulation entre rapport aux savoirs scolaires et rapports aux savoirs de la physique, Venturini montre (p. 122) que les élèves fortement motivés en physique sont aussi fortement mobilisés sur le savoir scolaire, ce qui constitue tout de même une spécificité importante de ce type d'élèves. Les élèves pas mobilisés sur le savoir scolaire ne sont pas mobilisés sur les savoirs de la physique. Venturini avance l'hypothèse selon laquelle cette absence de mobilisation en physique n'est pas uniquement liée à la physique et à son enseignement ; elle a aussi des sources qui lui sont extérieures. L'importance des phénomènes liés à l'environnement scolaire occupe en effet une place essentielle à travers l'enseignant, la nature du curriculum, la prise en compte de phénomènes tirés du quotidien dans les cours, la prise en compte des interrogations des élèves, la présence d'activités

⁸³ Par analogie avec les formulations de Charlot et al. (1992) qui distinguent une mobilisation sur l'école et à l'école, Venturini (2005) différencie mobilisation sur la physique et mobilisation en physique. La première correspond au cas où « *l'élève attribue du sens au fait même d'aller en cours de physique, sans que cela ne débouche sur un travail conduisant à des apprentissages stabilisés, effectifs* » (p. 20). La seconde correspond à un élève, qui « *en plus d'être mobilisé sur la physique, fournit une activité efficace conduisant à de réels apprentissages* » (p. 20).

expérimentales impliquant les élèves. On retrouve des résultats évoqués par Osborne *et al.* (2003) ainsi que par Méheut (2006).

Toujours à partir de ce cadre théorique, d'autres études ont interrogé les étudiants (Venturini & Albe, 2002a, 2002b) ou les lycéens (Venturini, 2005, 2006) sur leurs représentations de la physique et de sa fonction sociale. Selon les résultats de ces travaux, il s'avère qu'une maîtrise conceptuelle élevée permet une représentation plus évoluée. Ainsi, pour les étudiants de type savoirs utilitaires « *la physique sert à décrire ou à expliquer des phénomènes concrets. La fonction prédictive, les visées applicatives ne sont pas citées. La physique utilise essentiellement les mathématiques auxquelles s'ajoutent principalement l'expérience et l'observation. Ces outils ne sont pas intégrés dans une démarche cohérente de production de savoir, et les théories et modèles n'y figurent pas. Les liens entre élaboration théorique et investigation empirique sont mal définis ; l'évolution des idées, les débats qu'elle a suscités ne sont pas perçus, ni probablement le fait même qu'il puisse y avoir débat* » (Venturini, 2006 p. 135). Pour les étudiants présentant une maîtrise conceptuelle et une composante « plaisir de comprendre et d'apprendre », « *la construction du savoir en physique se fait de manière collective grâce à une dualité entre théorie et expérience ; les théories sont créées pour décrire et prévoir des phénomènes et sont évolutives et situées dans le temps* » (ibid.). Seuls les lycéens « *les plus fortement mobilisés ont une représentation de la physique et de sa fonction sociale en partie construite, qui présente une certaine cohérence ... les liens entretenus avec les technologies sont exprimés de manière pertinente. Des domaines professionnels ou des métiers utilisant les connaissances de la physique sont identifiés. Par contre, tous les autres élèves ont une représentation vague, incomplète ou inexistante [et] le rôle de la physique dans la société n'est pas perçu* » (p. 136).

Mais comme le souligne Venturini, ce n'est pas un problème pour l'institution « Enseignement de la physique » (au sens de Chevallard) puisque aucune de ces connaissances n'est exigée pour réussir. Venturini met ceci en rapport avec le rôle des enseignants et leurs propres connaissances parfois confuses sur ces sujets.⁸⁴ Mais l'existence de liens entre l'image de la science chez les élèves ou les étudiants et leur apprentissage des sciences et l'image de la science chez les enseignants et leur enseignement des sciences est discutée par de nombreux auteurs. Leach (2006) propose ainsi, dans une revue de questions autour des liens entre épistémologie et enseignement-apprentissage en sciences, une analyse critique des études empiriques des points de vue épistémologiques des étudiants et des enseignants sur le savoir scientifique.

Enfin, Venturini (2006) précise que les résultats obtenus sur les rapports aux savoirs de la physique « *ont quelques chose de figé puisqu'ils rendent compte du rapport des élèves ou des étudiants à un moment donné* » de leur scolarité. « *L'examen dans le temps des phénomènes et des processus à l'œuvre s'impose donc pour comprendre comment l'élève ou l'étudiant en arrive aux situations décrites précédemment* » (p. 137).

7.2 Rapports et enquêtes d'origine institutionnelle en France

En plus des travaux présentés précédemment, des études concernant l'image des sciences physiques et de son enseignement ont été menées récemment à l'initiative notamment du groupe des sciences physiques et chimiques, fondamentales et appliquées de l'Inspection

⁸⁴ Les représentations sur la science des futurs enseignants ou des enseignants ont été étudiées notamment par Pelissier, Venturini et Calmettes (2007), Robardet et Vérin (1998), Roletto (1995, 1998), Ruel, Désautels et Laroche (1997). Roletto évoque un « patchwork d'épistémologies » pour qualifier le mélange hétérogène de croyances relatives à la science chez un même individu. Les implications pour la formation des enseignants, notamment de sciences physiques, ont aussi été étudiées (Désautels, Laroche, Gagné & Ruel, 1993; Guilbert & Meloche, 1993; Robardet, 1995, 1998 ; **Boilevin, 2005b**).

générale de l'Éducation nationale ou bien encore d'un Centre de culture scientifique technique et industrielle (CCSTI).

7.2.1 Enquête CCSTI de Grenoble

Une enquête menée par le CCSTI de Grenoble (Bordon, 2004) a questionné les opinions et les représentations des collégiens et lycéens en matière de sciences et d'études scientifiques. Cette étude reposant sur une méthodologie solide (enquête par questionnaire avec analyse lexicale suivi d'une série d'entretiens complémentaires) explore le rapport aux sciences de jeunes de 14 à 18 ans, leur connaissance des débouchés des quatre matières scientifiques étudiées (mathématiques, physique, chimie, sciences de la vie et de terre) et la relation de ces représentations avec leurs aspirations professionnelles.

Les résultats de l'enquête montrent que peu de tendances fortes ne ressortent, ce qui signifie pour l'auteur, qu'il y a une grande diversité des représentations et des opinions des jeunes interrogés sur les sciences et les métiers scientifiques.

Les hypothèses sur lesquelles est fondée cette étude sont diversement validées :

- « *Les filières scientifiques sont souvent vues comme des filières longues et difficiles. Et il arrive que cette opinion soit un frein au choix de ce genre d'études. Cette tendance n'est cependant pas majoritaire et c'est beaucoup plus souvent un manque de goût pour les disciplines scientifiques ou un projet professionnel qui ne nécessite pas de suivre ce genre d'études qui dirigent les jeunes vers une autre voie.* » (p. 13)
- les débouchés des filières scientifiques en termes de métiers sont effectivement mal connus des jeunes interrogés. Certains métiers scientifiques ont même du mal à être identifiés comme tels. « *En revanche, les applications des disciplines scientifiques sont, elles, généralement évaluées avec justesse.* » (p. 13)
- « *A de rares exceptions, les hypothèses concernant le lien de dépendance entre le sexe ou la catégorie socio-professionnelle (CSP) des parents d'une part et les réponses données d'autre part sont invalidées dans cette enquête. Il y a certes une différence entre les sexes en ce qui concerne la tolérance aux métiers proposés par le questionnaire, mais c'est pratiquement la seule. Les motivations, le goût (ou le manque de goût), la filière suivie par le répondant pour les lycéens ont une influence bien plus forte que le sexe ou la CSP sur les réponses données.* » (p. 13)

L'examen des intentions des jeunes interrogés relatives aux filières scientifiques montre qu'un tiers des collégiens et que la moitié des lycéens expriment l'intention de suivre une filière scientifique après le baccalauréat. Contrairement à l'étude de Lemaire (2005) mais confirmant le point de vue de Boy (1992), l'influence des parents est ici déterminante dans le choix de l'orientation.

Le rapport insiste sur un résultat hors des hypothèses initiales qui apparaît primordial : « *les sciences sont une affaire de goût (ou de manque de goût)* » (p. 85). L'envie (ou le manque d'envie) pour les métiers proposés dans l'enquête montre une très forte prédominance des champs du goût, de l'intérêt ou de la passion. Des corrélations sont mises en évidence entre certaines matières scientifiques. Par exemple, « *ceux qui aiment les mathématiques sont aussi ceux qui aiment la physique et la chimie ; de même pour ceux qui n'aiment pas* » (p. 86). Mais les sciences de la vie et de la terre font l'objet d'un traitement à part dans les goûts et les représentations des jeunes interrogés. Devant ce résultat essentiel, le rapport conclut que « *si on considère qu'il est souhaitable que les jeunes soient nombreux à faire des sciences, on peut penser qu'agir sur leur goût pour celles-ci est sans doute un des moyens d'y parvenir* » (p. 86).

7.2.2 Image de la physique et de la chimie et de leur enseignement

Deux rapports récents viennent d'être consacrés à l'image de la physique et de la chimie pour les élèves et leurs enseignants d'une part au collège, et d'autre part au lycée.

7.2.2.1 Au collège

Le groupe des sciences physiques et chimiques, fondamentales et appliquées de l'Inspection générale de l'Éducation nationale (2006) présente une étude de la dimension expérimentale de l'enseignement dispensé au collège et des pratiques pédagogiques enseignantes. Cette étude empirique s'appuie sur des enquêtes par questionnaires et des observations de classes réalisées par les inspecteurs pédagogiques régionaux (IA-IPR) dans quelques collèges par académie. La synthèse réalisée n'est donc pas forcément représentative de l'ensemble de la situation en France. Les résultats donnent une image des pratiques pédagogiques analysées par les enseignants eux-mêmes ainsi qu'une vision par les élèves de la science en général et de la science enseignée. Le rapport « *met en évidence la grande prise de conscience des professeurs quant aux enjeux de l'acquisition par les élèves d'une culture scientifique concrète, en prise sur les réalités quotidiennes et les interrogations contemporaines, l'intérêt des élèves pour les matières scientifiques et plus spécifiquement les démarches expérimentales, mais aussi leurs interrogations et les limites de leurs investissements personnels dans les champs scientifiques. Cette étude montre aussi la marge de progression qui existe quant à la mise en pratique, concrète, dans la classe des objectifs de l'enseignement des sciences à l'École, et dégage quelques pistes de réflexion en ce sens* » (p. 2).

Au niveau du collège, l'image de la science, obtenue à travers les médias et la famille, semble plutôt négative. Mais on constate surtout une grande ignorance des contributions de la science au monde de plus en plus technologique qui nous entoure. L'image des sciences en tant que discipline scolaire semble corrélée au projet d'étude ou à l'effet professeur. Les élèves disent s'ennuyer en cours et ce d'autant plus qu'ils sont plus âgés. Concernant les activités en classe, les pratiques motivantes regroupent les activités où ils sont impliqués : expérience, IDD, ateliers scientifiques, etc. Les contenus enseignés sont diversement appréciés. Les désirs portent sur le quotidien, la compréhension du monde, les sciences de l'univers et la conquête spatiale. L'enquête montre que peu (ou pas d'élèves) ont une pratique culturelle scientifique en dehors du collège (lecture, télévision). Enfin, la moitié des élèves interrogés déclare ne pas avoir de projet d'orientation.

On est frappé par le décalage entre les déclarations des élèves et celles de leurs professeurs. Par exemple, les sujets qu'ils estiment intéressants pour leurs élèves ne sont pas souvent en accord avec les avis de ceux-ci ; les activités impliquant les élèves ne semblent pas si nombreuses (même si les difficultés sont compréhensives : effectifs pléthoriques, équipement insuffisant, gestion du temps, niveau linguistique faible chez certains élèves). Le recours à l'expérimental se fait plutôt sous forme de TP-Cours. Il y a peu ou pas de pratique interdisciplinaire. Mais l'enquête évoque une prise de conscience chez les enseignants des enjeux centrés sur l'acquisition d'une culture scientifique concrète pour impliquer les élèves dans leur futur de citoyen.

Les perspectives tracées à la fin du rapport éclairent sur les objectifs visés par l'Inspection générale de la discipline. L'un des enjeux essentiels de l'enseignement scientifique au collège est « *l'acquisition d'une culture scientifique, indispensable à la formation du citoyen moderne et à sa nécessaire adaptation aux évolutions de notre monde* » (p. 16). Les recommandations du rapport pour améliorer la situation sont nombreuses : « *mettre en place une véritable continuité des apprentissages entre l'école et le collège ; renforcer la culture didactique et épistémologique des enseignants et l'encadrement pour favoriser les pédagogies aptes à susciter l'intérêt des élèves pour les sciences, la compréhension raisonnée des démarches scientifiques ainsi que le rôle et la place des sciences dans la*

société ; favoriser le développement de l'initiative, de l'autonomie, de l'esprit critique ; contribuer à la maîtrise des outils modernes de communication et d'information » (p. 16).

7.2.2.2 Au lycée

Les résultats obtenus au niveau du collège par l'Inspection générale sont complétés par une étude (Alluin, 2007) réalisée par la Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance (DEPP), en liaison avec l'Inspection générale, sur l'image de la discipline sciences physiques et chimiques au lycée. L'objectif est d'éclairer les motivations des élèves lorsqu'ils choisissent ou non une filière scientifique en étudiant de façon croisée l'image de la science, des sciences physiques et chimiques et de l'enseignement de ces disciplines pour des élèves au « profil scientifique » ou non. Ces résultats sont comparés aux réponses des enseignants de sciences physiques et chimiques sur leur représentation de la discipline, sur leur démarche pédagogique et sur la représentation qu'ils se font de leurs élèves. L'échantillon constitué par la DEPP représente les lycées d'enseignement général et technologique (LEGT) et les lycées professionnels (LP) à travers des élèves de seconde et de terminale scientifique ou non, des enseignants de sciences physiques et chimiques ou d'autres disciplines ainsi que les personnels de direction. L'enquête réalisée en 2005 se caractérise par un nombre important de questions ouvertes faisant l'objet d'une analyse lexicale (logiciel Alceste) complétées par des éléments de contexte fournis par des questions fermées (traitées par le logiciel SAS). Le rapport précise que les taux de réponse sont satisfaisants en LEGT en ce qui concerne les élèves de terminale et les enseignants. Par contre, la représentativité en LP n'est pas réellement assurée car la physique-chimie est enseignée dans peu d'établissements de ce type.

Cette étude contient quelques surprises puisque l'image des sciences physiques et de leur enseignement semble très cohérente entre les enseignants et leurs élèves dans les filières scientifiques.

Les images de la physique et de la chimie sont bien distinctes chez les élèves mais elles sont dans l'ensemble bien éloignées de la physique et de la chimie qui se pratiquent en laboratoire de recherche ou dans l'industrie. Les aspects dangereux de ces sciences sont surtout évoqués en classe de seconde. On note que certains aspects utilitaires de la chimie sont repérés par les élèves alors que ceux de la physique ne semblent pas très précis, voire pas repérés (taux de réponse très faible). Les liens avec les futurs métiers sont évoqués seulement par les élèves de LP. Sans surprise, ce qui attire le plus les élèves dans cet enseignement tourne autour des aspects pratiques alors que « l'apprentissage par cœur de formules » est rejeté (mais là encore, le taux de réponse est faible). La physique est jugée intéressante mais difficile et la chimie intéressante et amusante. Le choix de ces deux disciplines scolaires est lié à l'orientation, essentiellement à travers la voie scientifique et non directement par l'attrait de ces deux matières. Les raisons évoquées ont trait aux débouchés professionnels, notamment en LP. La description du déroulement d'une séance de classe type de physique-chimie évoque souvent des mises en activité (intellectuelle ou pratique) avec des échanges plus que des cours magistraux. Mais seule une minorité d'élèves précise que la prise en compte du « déjà-là » sur les nouveaux sujets abordés est effective de la part de l'enseignant. Comme leurs camarades de collège, les lycéens se documentent peu sur les sujets scientifiques à part les élèves de terminale S.

On notera que les élèves n'étudiant pas la physique-chimie ont une vision un peu floue de l'utilité de ses sciences. Un élève sur deux déclare ne pas aimer cette discipline. Il est d'ailleurs dommage que cette partie de l'enquête ne soit pas plus développée car ces élèves « non scientifiques » sont en fait très majoritaires⁸⁵.

⁸⁵ A partir des données disponibles pour le système éducatif français en 1988, Hulin (1989) évaluait à 95% la part de chaque classe d'âge n'accédant pas aux baccalauréats scientifiques (C ou E).

Les réponses des enseignants de physique-chimie apparaissent très cohérentes avec celles de leurs élèves sur tous les points abordés. On y retrouve l'idée que cet enseignement ne donne ni accès à une image réelle de la physique et de la chimie en tant que sciences, ni à une idée des métiers possibles après des études scientifiques. Certaines des propositions de remédiation semblent pertinentes mais il est frappant de constater qu'ils ne proposent rien d'un point de vue didactique ou pédagogique comme s'ils étaient étrangers à cette situation. Cette attitude des enseignants qui semblent désarmés face à ces constats se retrouve dans une étude récente menée par un de nos étudiants (Msahazi, 2007). Des enseignants de sciences physiques en collège et lycée, interrogés sur leurs pratiques vis-à-vis de l'expérience et particulièrement de la démarche d'investigation, déclarent qu'il est difficile de mettre les élèves en activité car ils sont peu motivés, faibles, etc., en fait des raisons qui leur semblent extérieures à leur pratique, comme s'ils n'avaient aucune responsabilité et aucune prise sur ces faits. De son côté, Léna (2009a) souligne les difficultés rencontrées par les enseignants du secondaire pour abandonner un mode de présentation traditionnel de leur discipline.

7.3 Discussion – Bilan intermédiaire

Les travaux de recherche sur la motivation pour les sciences montrent le rôle important de l'environnement scolaire et notamment de la manière d'enseigner. Venturini note (2006) que pour favoriser la motivation à apprendre des sciences en situation scolaire, il convient de prendre en compte plusieurs éléments : la question du sens, la responsabilisation de l'élève, les aides à la réussite, l'évaluation sans dévalorisation, la collaboration entre pairs, les émotions positives en classe.

De son côté, l'enquête PISA 2006 (OCDE, 2007b) a étudié la motivation intrinsèque et la motivation extrinsèque pour l'apprentissage des sciences. Concernant la première, l'étude montre que la majorité des élèves prend plaisir à enrichir ses connaissances mais cet intérêt varie sensiblement selon les disciplines et les sujets abordés. Il existerait par ailleurs une corrélation entre intérêt pour les sciences et niveau de performance. De même, il existerait une relation entre la motivation intrinsèque (indice de plaisir) et le milieu socioéconomique dans des pays comme la France. Du côté de la motivation extrinsèque, la motivation instrumentale apparaît comme une variable prédictive probante de la performance et du choix de l'orientation scolaire et professionnelle. Elle est aussi liée au milieu socioéconomique : elle est d'autant plus grande que les élèves sont issus d'un milieu plus favorisé. La motivation prospective pour l'apprentissage des sciences ne dépasse pas la moitié des élèves interrogés et cette mesure est corrélée de manière positive avec la performance en sciences de manière importante dans des pays comme la France. En fait, une minorité seulement des élèves envisagent de s'engager dans une filière scientifique à l'avenir.

Les travaux de recherche sur les attitudes envers les sciences gagneraient à être distingués des études sur les attitudes envers les sciences à l'école puisque les liens entre les deux ne semblent pas toujours évidents. D'ailleurs, comme le montre l'étude PISA 2006, les élèves peuvent accorder beaucoup d'importance aux sciences en général, sans pour autant faire de liens avec leur vie et leur comportement. De plus, les liens entre attitudes et comportement ne semblent pas toujours corrélés. Cependant, si l'on retient le bilan établi par Venturini (2006) « *on peut retenir que l'attitude envers les sciences à l'école n'est pas très bonne, particulièrement envers la physique dont l'enseignement est perçu comme difficile, abstrait, sans intérêt sauf à vouloir faire une carrière scientifique. L'attitude se détériore généralement de manière régulière au fur et à mesure que l'élève avance dans son cursus scolaire, notamment après son entrée dans l'enseignement secondaire. On peut aussi affirmer d'une part que l'attitude envers les sciences est moins bonne chez les filles que chez les garçons, surtout vis-à-vis de la physique, et d'autre part que les éléments de l'environnement scolaire sont déterminants dans l'élaboration des attitudes. Le rôle et l'importance de l'enseignant à*

cet égard ont notamment été soulignés, à propos notamment des activités qu'il propose aux élèves, du contrôle qu'il exerce sur elles, du soutien qu'il leur apporte, de l'image qu'il donne des sciences. Par ailleurs, les élèves semblent avoir plus d'intérêt pour les cours dans lesquels on met l'accent sur la contextualisation applicative des concepts plutôt que ceux faisant l'objet d'une approche plus conceptuelle et abstraite, traditionnelle en physique par exemple. ... La situation semble se dégrader sur plusieurs plans : intérêt pour les matières scientifiques, effet du genre, aversion pour les aspects écrits en sciences, etc. Enfin, l'attitude d'un élève est aussi lié à celle des pairs dont il est proche et à celle des membres importants de sa famille, aux relations qu'il entretient avec elle, et au soutien qu'il en reçoit » (p. 59-60). Finalement, plusieurs facteurs intervenant dans les attitudes envers l'enseignement des sciences semblent essentiels : la nature du curriculum, la nature de la discipline, l'influence du niveau d'étude, l'influence du genre, l'influence de l'environnement scolaire, l'influence de l'environnement social et la relation entre attitudes et réussites.

Par ailleurs, il conviendrait probablement de distinguer plusieurs dimensions : l'image de la science et de ses relations avec la technologie et la société, l'image de la nature de la science et de sa construction, l'image de ses acteurs, l'image de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences. Ainsi, les sciences dans la société sont plutôt perçues de façon positive mais la représentation sociale des scientifiques et des métiers scientifiques mériterait d'être questionnée ou approfondie surtout si le lien avec le choix des études et des carrières scientifiques était avéré. La représentation de la physique et de sa fonction sociale est construite uniquement chez les lycéens les plus mobilisés dans cette discipline. Il semble que la situation soit très voisine en chimie.

Les recherches menées dans le cadre du rapport aux savoirs de la physique mettent en évidence une composante utilitaire importante. La physique ne sert qu'à l'école, pour l'orientation scolaire et pour le futur métier mais la dimension culturelle n'est pas perçue par la majorité des élèves. Mais cela ne gêne pas l'institution « enseignement de la physique » puisqu'elle ne prend pas en compte actuellement ce type de connaissances dans les évaluations.

Dans les enquêtes institutionnelles françaises récentes, on ne retrouve pas totalement les résultats indiqués par Venturini (2006) ou Osborne et al. (2003). Il faut bien sûr rester prudent quant à toute tentation de généralisation car les méthodologies employées sont probablement discutables. Néanmoins, il semble que le goût (ou non goût) des sciences intervienne beaucoup dans l'intérêt des élèves pour les études scientifiques et particulièrement en sciences physiques. Il resterait très certainement à préciser cette notion pour en faire un réel facteur intervenant dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences physiques et chimiques. On découvre de plus dans ces enquêtes que les enseignants sont conscients de certaines difficultés actuelles de l'enseignement des sciences physiques. Ils identifient par exemple la baisse d'intérêt des élèves au collège et les différences existant entre la science réelle (vue comme un processus de création de savoirs) et la science enseignée. Mais les décalages entre leurs pratiques ressenties et leurs pratiques réelles montrent qu'ils sont un peu désarmés face au constat.

Toutes les approches évoquées dans ce chapitre sont plus complémentaires que concurrentes et nombre de résultats sont voisins ou identiques. Une comparaison avec les facteurs dont dépend le phénomène de désaffection pour les études scientifiques permet de retrouver une grande partie des facteurs idéologiques, pédagogiques et didactiques étudiés précédemment (cf. 6.3.2) :

- Image dégradée de la science ;
- Image des scientifiques désuète, éloignée de la réalité ;
- Éloignement de l'enseignement scientifique des centres d'intérêt des jeunes (la question du sens) ;
- Culture adolescente en décalage par rapport aux systèmes de valeurs perçus à travers l'enseignement des sciences.

- Image de la science véhiculée par l'enseignement scolaire peu enthousiasmante ou éloignée de la science qui se fait ;
- Programmes d'enseignement et curricula inadaptés ;
- Démarches pédagogiques peu attrayantes, pratiques pédagogiques trop stéréotypées et trop académiques.

Certains d'entre eux comme l'importance de l'environnement scolaire (prise en compte des phénomènes tirés du quotidien, prise en compte des interrogations des élèves, recours à des activités expérimentales, rôle privilégié de l'enseignant) et la nature du curriculum font partie du champ des recherches de la didactique des sciences. Le premier élément renvoie à une série de travaux sur les interactions didactiques en classe, sur la place et le rôle des activités expérimentales et du problème scientifique dans l'apprentissage des sciences physiques. Le second élément fait appel aux travaux sur la sociologie du curriculum et au cadre théorique de la transposition didactique en interrogeant les types de tâches prescrites aux enseignants. Mais il renvoie à nouveau au rôle primordial de l'enseignant puisque c'est lui qui construit des tâches et mène les activités des élèves à partir du curriculum prescrit, des contenus et des enjeux perçus.

La question du sens des tâches et des apprentissages scolaires en sciences que l'on retrouve à travers l'importance de l'environnement scolaire pose en fait la question de la référence pour l'enseignement scientifique (Terrisse, 2001). Cette question renvoie aussi à la question du type de tâches scolaires à proposer aux élèves pour permettre des apprentissages. Parmi les propositions faites par les chercheurs ou les décideurs, on retrouve notamment la pratique d'enseignement – apprentissage par investigation scientifique que nous nous proposons d'étudier plus en détail au chapitre suivant.

8 Enseignement et apprentissage des sciences physiques fondé sur l'investigation

Une réflexion au niveau international à propos du rôle des activités expérimentales dans l'enseignement des sciences a permis le développement de nouveaux curricula (anglo-saxons notamment) dans les années 1990. Ceux-ci visent le développement d'une culture scientifique donnant une image plus riche et diversifiée des démarches scientifiques. Il s'agit de laisser plus d'autonomie aux élèves en proposant des tâches plus ouvertes et des activités de plus haut niveau cognitif. Les tâches de type « hands'on » ou de type investigation scientifique sont alors souvent utilisées car elles semblent jouer un rôle important dans la motivation et l'intérêt pour les sciences en s'appuyant sur des modèles didactiques (pas toujours explicitement) de type socioconstructivistes et des situations de la vie réelle. On passe ainsi d'activités centrées sur des apprentissages manipulatoires ou conceptuels, organisés en démarches stéréotypées, à des démarches d'investigation ouvertes avec élaboration de questions, formulation d'hypothèses, etc. En France, l'expression « démarche d'investigation » a été introduite dans le projet « La main à la pâte » puis reprise dans l'enseignement primaire et plus récemment dans l'enseignement secondaire.

Ce thème de recherche correspond à l'orientation actuelle de nos travaux. En effet, l'enseignement et l'apprentissage des sciences physiques fondé sur l'investigation paraît intéressant car il permet de prendre en compte certains facteurs favorisant l'intérêt des élèves. De plus, il nous semble en continuité avec les travaux que nous avons menés précédemment sur les activités de résolution de problème ouvert et sur les interactions didactiques en classe de sciences physiques.

8.1 Contexte international

Les publications sur ce thème de recherche sont plutôt nombreuses au niveau international à propos de l'enseignement secondaire. Certaines études portent plus particulièrement sur l'explicitation du sens accordé au terme de démarche d'investigation en classe dans les curricula. D'autres se centrent sur les effets de ce type de démarches pédagogiques sur les pratiques enseignantes et sur les apprentissages des élèves. D'autres encore abordent la formation des enseignants à ces nouvelles pratiques.

8.1.1 Orientations curriculaires

Nous avons déjà évoqué les évolutions des finalités de l'enseignement des sciences dans les curricula et dans les standards de formation. Sous l'influence d'une perspective sociétale, la prise en compte dans l'enseignement de la nature de la science et de ses pratiques occupent une place importante au même titre que l'apprentissage de connaissances scientifiques. Ces évolutions ont notamment modifié le rôle des activités expérimentales et l'apparition de l'enseignement des sciences par l'investigation scientifique (« inquiry ») dès le début des années 60 aux USA (Schwab, 1962, cité par Park Rogers et Abell, 2008). Cette pratique d'enseignement est réapparue depuis de manière explicite dans de nombreux curricula aux USA mais aussi dans d'autres pays : Science for All Americans (AAAS, 1989) ; National Science Education Standards (NRC, 1996) ; English National Science Curriculum⁸⁶ ;

⁸⁶ <http://curriculum.qca.org.uk/>

Pan Canadian Science Project⁸⁷. Elle diffuse aussi peu à peu dans les curricula européens comme le montre le rapport Eurydice (2006).

Des recherches ont été ainsi menées pour développer la place de l'investigation dans les curricula (par ex. Trumbull, Bonney & Grudens-Schuck, 2005) avec parfois la mise en œuvre d'un environnement numérique de travail destiné aux étudiants et aux enseignants (Linn, Clark & Slotta, 2003; Gueudet et al., 2009). Mais une des premières difficultés a été de clarifier la définition du concept même car au-delà des expressions différentes utilisées (*Inquiry based science, Inquiry based instruction, Inquiry based science education, Inquiry based science teaching*), il s'agit de voir si les idées développées sont les mêmes. Par exemple, Millar (1996) envisage l'investigation comme une tâche pratique où l'approche à suivre pour s'attaquer à une question ou résoudre un problème est ouverte : les élèves peuvent décider de ce qu'ils observent ou mesurent, ce qu'ils modifient ou manipulent, quel équipement ils utilisent. Pour Howes, Lim et Campos (2008), l'investigation en classe consiste à « faire comme les scientifiques » (« what scientists do »). Mais ces auteurs avancent que de nombreux chercheurs en éducation scientifique partagent l'idée que la définition de l'investigation en classe n'est pas du tout stabilisée. Cette absence de signification partagée est inévitable et même nécessaire pour ces auteurs, car elle dépend de multiples facteurs (par ex. les connaissances de l'enseignant, l'âge des élèves, les compétences linguistiques, etc.).

De leur côté, Park Rogers et Abell (2008) notent que l'investigation scientifique ne doit pas être confondue avec l'apprentissage par investigation et l'enseignement par investigation. Ce point de vue est partagé par d'autres auteurs (Gengarelly & Abrams, 2009, cités par Gueudet et al., 2009; Jorde, 2009) alors que certains ne semblent pas distinguer si nettement cette différence entre la pratique scientifique et les pratiques enseignantes et celles des élèves en classe (Hofstein & Lunetta, 2004). La définition de la pratique scientifique développée par le National Science Education Standards (NRC, 1996) est souvent citée à l'appui dans ces discussions. Elle repose sur l'idée que cette pratique représente les diverses manières que les scientifiques ont d'étudier le monde qui nous entoure et de proposer des explications basées sur des preuves tirées de leur travail. Pour l'équipe du projet de recherche « Mind the Gap: Learning, teaching, research and policy in inquiry-based science education », l'investigation est au cœur de la méthode scientifique : « *It is what scientists do when they attempt to understand the natural world by asking questions about systems or objects, by collecting data, making predictions, testing out ideas and making conclusions* » (Jorde, 2009, p. 1). Cependant, la science à l'école doit être distinguée de la pratique scientifique : « *what scientist do is not the same as school science* » (Jorde, 2009, p. 2).

Harlen (2004) s'appuie, quant à elle, sur des considérations théoriques (épistémologiques et psychologiques) pour définir l'investigation scientifique en classe. Pour cet auteur, les élèves y apprennent des connaissances scientifiques qu'ils peuvent utiliser mais ils apprennent aussi sur leur manière d'apprendre. Pour Minner, Jurist Levy et Century (2009) l'enseignement fondé sur l'investigation est basé sur les réflexions théoriques à propos de la nature de l'apprentissage et de l'enseignement, notamment les approches constructivistes de Piaget, Vygotski et Ausubel. A partir de ce cadre théorique et de la description de l'investigation proposée dans le National Science Education Standards (NRC, 1996; NRC, 2000), ces auteurs distinguent très clairement trois catégories d'activités en rapport avec l'investigation : ce que font les scientifiques (« *e.g., conducting investigation using scientific methods* » p.3), comment les élèves apprennent (« *e.g., actively inquiring through thinking and doing into a phenomenon or problem, often mirroring the process used by scientist* » p.3) et l'approche pédagogique employée par les enseignants (« *e.g., designing or using curricula that allow for extended investigations* » p.3).

⁸⁷ <http://www.cmec.ca/science/>

Park Rogers et Abell (2008) précisent ce que les élèves doivent faire dans un apprentissage par investigation scientifique en classe : « *engaging in scientifically oriented questions; giving priority to evidence, thereby allowing them to develop and evaluate explanations that address scientifically oriented questions; formulating explanations from evidence to address scientifically oriented questions; evaluating their explanations in light of alternative explanations, particularly those reflecting scientific understanding; communicating and justifying their proposed explanations* » (p. 592). Ces caractéristiques permettent de distinguer une investigation partielle (« partial inquiry ») d'une investigation complète (« full inquiry ») lorsque tous les éléments ne sont pas pris en compte. Pour sa part, l'équipe du projet « Mind the Gap » (Jorde, 2009), s'appuyant sur une étude de la littérature à propos d'éducation scientifique, avance que l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation (IBST) est caractérisé par des activités menant l'élève dans (p.4) :

- « *authentic and problem based learning activities where there may not be a correct answer* ;
- *a certain amount of experimental procedures, experiments and "hands on" activities, including searching for information* ;
- *self regulated learning sequences where student autonomy is emphasized* ;
- *discursive argumentation and communication with peers ("talking science")*.

De leur côté, Minner et al. (2009) notent que les distinctions entre tâche ouverte et tâche guidée ne sont pas suffisantes. Dans le cadre de l'étude « Inquiry Synthesis Project », ces auteurs développent un cadre conceptuel intégrant tous les aspects figurant d'après eux dans la littérature de recherche et proposent une définition de la pratique de l'investigation en classe. « *Inquiry science instruction can be characterized as having three aspects: (1) the presence of science content, (2) student engagement with science content, and (3) student responsibility for learning, student active thinking, or student motivation within at least one component of instruction- question, design, data, conclusion or communication* » (Minner et al., 2009, p.5). Gengarelly et Abrams (2009, cités par Gueudet et al., 2009) proposent, pour leur part, une classification des niveaux d'investigation dans l'enseignement des sciences prenant en compte les rôles respectifs de l'enseignant et des élèves. Ces auteurs distinguent trois dimensions (question, méthodes, solution) qu'ils croisent avec quatre niveaux d'intervention possible de l'enseignant dans l'investigation (confirmation, structurée, guidée, ouverte).

De nombreux auteurs s'expriment sur l'intérêt de l'introduction d'une telle pratique dans les classes de sciences et explicitent notamment les enjeux en termes d'apprentissage. Ainsi, Gengarelly et Abrams (2009, cités par Gueudet et al., 2009) envisagent l'usage de l'investigation en classe pour améliorer la compréhension des concepts scientifiques, comprendre la nature de la science, développer la disposition à répondre aux questions, améliorer les attitudes à l'égard des sciences. Pour l'équipe « Mind the Gap », l'investigation en classe n'est pas considérée comme de l'investigation si elle ne permet pas d'améliorer la compréhension et la pratique de la science. Le plus important pour Howes, Lim et Campos (2008) est d'abandonner les efforts développés pour enseigner par investigation (« teaching by inquiry ») pour s'attacher à un enseignement pour l'investigation (« teaching for inquiry »). Gyllenpalm, Wickman et Holmgren (2010), quant à eux, mettent en avant trois dimensions caractérisant l'investigation scientifique dans l'enseignement : « *a set of skills to be learned by students; a cognitive understanding of the process of inquiry, for example the logic of controlled experiment; a pedagogical strategy* » (p. 1153). S'appuyant sur Lederman (Lederman, 2004, cité par Gyllenpalm et al, 2010), ils indiquent que les documents institutionnels communiqués aux enseignants mettent plutôt l'accent sur la troisième dimension.

Les curricula européens prennent en compte cette pratique d'enseignement par investigation comme le montre le rapport Eurydice (2006) qui recommande le développement d'un raisonnement scientifique par l'investigation. « *Le développement d'un raisonnement scientifique repose sur un enseignement et des apprentissages qui soulignent l'importance*

du développement d'une compréhension holistique (et donc complexe) des activités et des procédures scientifiques, reflétant une approche de scientifiques professionnels... La recherche suggère que les sciences, au niveau secondaire, présentent parfois une approche plus « stéréotypée » des activités pratiques (où les activités sont conçues pour déboucher sur des conclusions dictées ou qui coulent de source). L'enseignement primaire semble ouvert aux activités d'investigation » (p. 78). L'analyse des programmes scolaires dans ce rapport montre cependant que la plupart des programmes du secondaire inférieur « exigent un ensemble de connaissances et d'expériences plus complexes, ainsi qu'une activité plus indépendante de la part des élèves que les programmes du primaire ». Ceci semble tout à fait cohérent avec le principe de développement progressif de la compétence d'investigation scientifique des élèves.

Ainsi, en Belgique, à l'occasion des modifications des programmes du primaire et du secondaire de la communauté française en 2001, il est préconisé de recourir dans l'enseignement scientifique à une démarche par énigme scientifique. Il s'agit de passer d'un enseignement traditionnel à une approche basée sur la construction du savoir par l'expérimentation via une nouvelle méthodologie introduite par Delfosse (1998, cité par Flammang & Forget, 2002). Cette méthode met en jeu des démarches intellectuelles de plus haut niveau que la simple transmission de connaissances ne permet pas de mobiliser (Vlassis, De Landsheere & Mélon, 2002). La démarche de « construction du savoir de l'élève par l'expérimentation » (Delfosse) comporte en effet huit phases distinctes : émergence de l'énigme, recherche d'indices et dégagement de pistes, confrontation de toutes les pistes perçues et sélection de certaines pistes, investigation de chaque piste retenue, regroupement et communication des résultats, vérification, validation, conclusion provisoire.

Le projet « Real Science » développé par le National Endowment for Science, Technology and the Arts en Grande Bretagne (NESTA, 2005) considère de son côté que l'apprentissage par investigation scientifique est une forme d'éducation scientifique qui amène les élèves à formuler des questions et des hypothèses, à tester et à réviser éventuellement celles-ci en s'appuyant sur des expériences et des observations, et à présenter leurs conclusions aux autres. Cette pratique doit conduire les élèves à comprendre les méthodes, les résultats et les usages de la science même si ce ne sont pas totalement les mêmes activités que celles des chercheurs. L'idée générale est que cette forme d'enseignement développe une compréhension des pratiques scientifiques et des connaissances scientifiques. A terme, cela doit encourager les élèves à poursuivre des études scientifiques.

Finalement, la majorité des auteurs partagent un même point de vue, à quelques variantes près, sur les fondements de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation qui doit permettre une meilleure compréhension de la science et un apprentissage de connaissances scientifiques par les élèves. Il convient alors d'étudier comment les enseignants s'emparent de ces nouvelles prescriptions concernant leurs pratiques car les modifications à mettre en œuvre semblent radicales.

8.1.2 Investigation scientifique en classe et pratiques enseignantes

Dans le cadre du projet « How people learn » développé par le National Research Council aux États-Unis, Bransford et Donovan (2005) présentent trois principes sur lesquels devraient s'appuyer les pratiques des enseignants de science pour développer l'enseignement par investigation : « addresses preconceptions, knowledge of what it means to « do science », metacognition ». Les auteurs précisent que ces principes peuvent être organisés dans un cadre concevant l'environnement scolaire selon quatre aspects : « learner-centered, knowledge-centered, assessment-centered, community-centered ». Le rapport dirigé par Donovan et Bransford (NRC, 2005) propose des exemples de séquences d'enseignement s'appuyant sur ces principes. Par exemple, Minstrell et Kraus (2005) proposent une séquence d'enseignement sur les forces et la gravitation au niveau du secondaire inférieur. Mais comme le notent les auteurs du rapport, il importe que les

enseignants s'approprient ces principes dans leur propre réflexion et dans leurs pratiques d'enseignement plutôt que d'essayer de répliquer directement les séquences proposées.

Pour Park Rogers et Abell (2008), la manière de faire des enseignants apparaît en effet essentielle pour parler d'investigation en classe. Les conceptions de ceux-ci semblent d'ailleurs très variées. Certains mettent en avant l'aspect expérimental et privilégient l'apprentissage de procédures en développant des tâches de type « hands'on » alors que d'autres mettent en avant la résolution de problèmes. D'autres encore voient dans cette démarche un moyen de développer l'autonomie des élèves ou la capacité à argumenter et à communiquer avec leurs pairs.

Polman et Pea (2001) décrivent la transformation nécessaire de la communication en classe pour mettre en place des stratégies de type investigation scientifique ouverte et ils mettent en avant un cadre théorique prenant en compte le rôle du langage comme outil culturel. On retrouve cette préoccupation chez Keys et Bryan (2001) qui proposent un cadre théorique pour l'enseignement-apprentissage par investigation scientifique à partir d'une revue de questions. En particulier, pour ces auteurs, le socioconstructivisme accorde une fonction importante au langage qui amène des transformations des modèles d'enseignement à l'œuvre jusqu'alors. Cela nécessite des recherches sur les conceptions des enseignants sur l'apprentissage, sur leurs connaissances et sur leurs pratiques de l'investigation scientifique. Ces auteurs appellent aussi à l'implication des enseignants dans les recherches sur l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation et dans la mise en œuvre des nouveaux curricula car l'efficacité des réformes dépend essentiellement d'eux.

Certains travaux de recherche sont effectivement consacrés à l'étude des conceptions enseignantes (notamment des jeunes enseignants) sur l'apprentissage des sciences par les élèves et sur leurs liens avec la pratique de l'investigation scientifique. Crawford (2007) examine, au cours d'une étude de cas, le développement professionnel de futurs enseignants à propos de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation. Parmi plusieurs facteurs supposés intervenir dans ce développement (connaissances et croyances sur l'enseignement des sciences, conceptions du tuteur sur l'enseignement des sciences), elle montre que les croyances sur ce qu'est la science et sur son enseignement ont le plus d'influence. De son côté, Luft (2001) étudie l'impact d'un programme de type investigation scientifique sur les conceptions et les pratiques d'enseignants débutants ou confirmés. Elle constate que les débutants modifient leurs conceptions plus que leurs pratiques alors que c'est le phénomène inverse pour les enseignants confirmés. Jones et Eick (2007) analysent, quant à eux, la mise œuvre d'un curriculum de ce type par de jeunes enseignants et observent les adaptations réalisées. Ils constatent que les enseignants ont besoin d'une aide individuelle et collective pour changer de pratiques.

Akkus, Gunel et Hand (2007) comparent l'efficacité d'une pratique axée sur la démarche d'investigation par rapport à une pratique traditionnelle d'enseignement des sciences. L'observation des enseignants ainsi que l'analyse des résultats aux évaluations des élèves après enseignement montrent que la qualité de la mise en œuvre de la méthode a un impact important sur les résultats des élèves. Mais parmi les gestes professionnels nécessaires à la mise en œuvre de la démarche d'investigation, faire produire des réponses de qualité et les gérer en classe semble difficile pour les enseignants. Furtak (2006) étudie les manières de faire de trois professeurs qui s'avèrent aller de la gestion ludique pour l'un d'eux à un traitement rationalisé des réponses par l'enseignant pour un autre, en passant par un troisième qui accepte les réponses des élèves sans les évaluer. De son côté, Crawford (2000) identifie différents rôles que doit jouer un enseignant dans le cadre d'activités d'investigation en classe. Quant à Tang, Coffey, Elby et Levin (2010), ils mettent en avant les tensions qui surgissent en classe lorsque les enseignants mettent trop l'accent sur les étapes de la méthode scientifique au détriment des investigations produites par les élèves eux-mêmes.

Pour Windschitl, Thompson et Braaten (2008), une des difficultés des enseignants débutants est d'abandonner une vision de la « méthode scientifique mythique » qu'ils reproduisent en classe avec leurs propres élèves. Le manque de clarté épistémologique de la communauté des didacticiens des sciences au sujet de l'investigation scientifique est mis en cause par ces auteurs qui proposent une vision alternative de l'investigation scientifique (model-based-inquiry). Ce modèle, basé sur des activités et des discours engageant les élèves plus profondément dans la connaissance scientifique, représentée sous la forme de modèle scientifique possédant cinq caractéristiques (testable, révisable, explicatif, conjectural et prédictif), est testé auprès d'enseignants par les auteurs.

Gyllenpalm et al. (2010) étudient, quant à eux, l'usage du langage dans les pratiques d'enseignement par investigation dans les classes de lycée suédois. Pour ces auteurs, le développement d'une culture scientifique passe en effet par la compréhension de l'investigation scientifique et de la nature de la science. Cela suppose d'une part, que les élèves pratiquent une telle démarche mais aussi qu'on les amène à réfléchir sur celle-ci, et d'autre part, que les enseignants utilisent un langage adapté pour les aider dans cette réflexion. A l'aide d'entretiens auprès d'une douzaine d'enseignants, Gyllenpalm et al. s'intéressent particulièrement aux termes hypothèse, expérimentation et travail de laboratoire. Ils montrent que les enseignants confondent la fin et les moyens. Ces derniers sont en effet plus préoccupés par les aspects pédagogiques de l'investigation et la compréhension des produits de la science que par les processus de l'investigation scientifique, cette dernière n'étant pas considérée comme une connaissance conceptuelle.

L'importance du développement d'un raisonnement scientifique des enseignants eux-mêmes est aussi évoquée dans le rapport Eurydice de 2006. « *Les liens entre les connaissances et les compétences scientifiques des enseignants, les façons dont ils enseignent les sciences, ainsi que les conséquences pour les élèves, sont établis dans plusieurs études. Il a été démontré que le niveau de connaissances des élèves est lié aux compétences de leurs enseignants dans les disciplines concernées. Cela met en lumière l'importance de la formation des enseignants et, plus spécifiquement, de leur formation aux démarches scientifiques* » (p. 78). Ainsi, Vlassis et al. (2002) discutent des questions et des réflexions émises par des enseignants impliqués dans la mise en œuvre d'énigmes scientifiques en classe. Ils montrent que ceux-ci se trouvent souvent démunis pour mettre en application cette méthodologie et qu'ils ont besoin d'une aide appropriée.

Les nouveaux curricula introduisant l'investigation scientifique en classe se traduisent par des modifications importantes des pratiques enseignantes. Les résultats des recherches montrent les nombreuses difficultés rencontrés par les enseignants pour mettre en œuvre ses changements. Le besoin en formation est évident mais il reste à identifier des méthodologies efficaces.

8.1.3 Investigation scientifique en classe et formation des enseignants

Plusieurs études récentes s'intéressent aux effets de la formation des enseignants à propos de la démarche d'investigation sur les pratiques en classe. Ainsi, Haefner (2007) étudie l'évolution de futurs enseignants du primaire au cours d'une formation innovante centrée sur la démarche d'investigation. Elle montre qu'ils construisent une meilleure compréhension de la science et de l'investigation scientifique et qu'ils semblent accepter de recourir à des pratiques d'enseignement qui encouragent les élèves à poser des questions sur les phénomènes scientifiques. Par contre, Brown et Melear (2006) obtiennent des résultats faisant apparaître des incohérences car la moitié des enseignants ayant participé à une formation destinée à promouvoir la démarche d'investigation recourt à un style plus directif qu'ils ne le pratiquent habituellement lorsqu'ils utilisent cette forme d'enseignement en classe. Schwarz et Gwekwerere (2007) analysent l'appropriation d'un modèle d'investigation guidée (Engage-Investigate-Model-Apply) par des enseignants débutants du primaire et du secondaire. Un accompagnement de la prise en main du modèle par les professeurs donne

des effets positifs sur les conceptions et les pratiques en classe qui deviennent beaucoup plus interactives, abandonnant une utilisation d'activités fermées au profit d'investigations guidées. Van Zee, Hammer, Roy et Peter (2005) s'intéressent, quant à eux, aux modifications des conceptions d'enseignants sur l'apprentissage, l'investigation scientifique et les pratiques collaboratives des élèves dans des tâches d'investigation grâce à une école d'été.

Pour Blanchard, Southerland et Granger (2009), un des obstacles majeurs de la réforme de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences par investigation provient du fait que peu d'enseignants ont une expérience de la recherche scientifique et possèdent des conceptions très naïves sur celle-ci. Il existe cependant aux USA un dispositif de formation (research experiences for teachers – RET) permettant un développement professionnel des enseignants. L'étude mise en place par les auteurs vise à identifier les effets d'une telle formation sur les pratiques d'investigation en classe. Partant de l'hypothèse qu'un changement de conceptions sur la science s'accompagne d'un changement des pratiques d'enseignement, l'étude de cas s'attache notamment à repérer les changements dans la nature et dans les usages des questions posées aux élèves par leur professeur. Les résultats montrent que le dispositif de formation est efficace s'il inclut une part de réflexion sur le processus d'investigation et si les participants sont prêts à s'impliquer dans la compréhension des appuis théoriques sous-jacents.

L'équipe du projet « Mind the Gap » a étudié de son côté la situation dans sept pays européens concernant le développement professionnel des enseignants du secondaire inférieur à propos de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation (Lipowski & Seidel, 2009). Il semblerait en particulier que le dispositif SINUS développé en Allemagne (Ostermeier et al., 2009) soit prometteur mais il nécessiterait des adaptations aux différents systèmes éducatifs s'il devait servir de modèle.

Il semble que les travaux de recherche sur les formations à mettre en place pour faciliter les changements de pratiques des enseignants pour mettre en œuvre la démarche d'investigation soient encore peu nombreux. Il reste à étudier les effets de cette pratique sur les apprentissages visés chez les élèves.

8.1.4 Les élèves et l'investigation scientifique en classe

Les premières études ont montré tous les bénéfices que l'on peut tirer d'une méthode reposant sur l'investigation scientifique à propos des apprentissages des élèves. Les recherches actuelles, s'appuyant le plus souvent sur des études de cas, portent encore sur l'évaluation des effets de tels types de tâches scolaires mais elles s'intéressent plus précisément à certaines des activités des élèves.

Par exemple, dans le cadre du projet PACKS (« connaissances conceptuelles et procédurales en sciences »), Millar (1996) montre que les jeunes élèves (moins de 12 ans) se situent d'abord dans une perspective d'optimisation d'un effet, d'un phénomène et que plus tard (plus de 12 ans), ils sont susceptibles d'évoluer vers une approche plus rationnelle d'explications des relations entre les variables. En fait, les élèves cherchent à satisfaire leur propre curiosité en pratiquant une recherche personnelle mais ils n'arrivent pas à concevoir le caractère public de cette investigation où la présentation de preuves expérimentales tient une place prépondérante. Le projet PACKS met ainsi en évidence les difficultés des élèves à manipuler les données empiriques au cours d'un travail expérimental ainsi que leurs difficultés à comprendre le statut d'une preuve scientifique. Cette perspective de développement progressif de compétences dans l'investigation scientifique sur plusieurs années est étudiée par Windschitl (2003) qui propose d'utiliser des tâches plus ou moins ouvertes en partant de démarches pré-structurées et en allant vers des formes guidées (questions proposées aux élèves) puis ouvertes (questions formulées par les élèves). Il faut en effet du temps pour que les élèves s'adaptent à ce type de situation où ils doivent prendre

des initiatives comme le montrent Holbrook et Kolodner (2000) qui testent un dispositif d'aide aux élèves visant une meilleure implication de leur part. On retrouve ce facteur temps dans une étude de Flammang et Forget (2002) pour qui le recours aux énigmes scientifiques « *a besoin d'un certain temps pour déployer pleinement ses effets* » (p. 142). Pour ces auteurs, cette approche permet notamment de « *favoriser les fonctions de développement au détriment des comportements d'imposition, de promouvoir la participation active des élèves dans le processus d'apprentissage, d'améliorer de manière notable les performances des élèves, de favoriser sensiblement les affects des élèves envers le cours de science* » (p. 142).

Blanchard et al. (2010) comparent les pratiques enseignantes traditionnelles (« *verification laboratory instruction* ») à celles basées sur de l'investigation guidée (« *guided inquiry-based instruction* ») sur les performances d'élèves du secondaire en termes de connaissances conceptuelles, procédurales et sur la nature de la science. L'étude montre que les élèves participant à des activités d'investigation ont de meilleurs résultats que les autres, particulièrement dans les établissements accueillant des publics défavorisés ou lorsque les enseignants font preuve de pratiques d'investigation solides. Mais Harlen (2004) note qu'avant de penser à évaluer les effets de ces pratiques d'enseignement sur les acquisitions des élèves, il faut se donner du temps car il ne suffit pas de proposer le matériel adéquat et un peu de formation aux enseignants pour que les changements de pratique aient lieu aussitôt.

Plus récemment, Russ, Scherr, Hammer et Mikeska, (2008) étudient les raisonnements des élèves dans la démarche d'investigation et leurs rôles dans l'expérimentation et l'argumentation. De leur côté, Hofstein, Navon, Kipnis et Mamlok-Naaman (2005) comparent les compétences des élèves pour poser des questions de chimie à partir de tâches d'investigation expérimentale ou de lecture critique d'article scientifique. Ils montrent que les élèves ayant travaillé sur le premier type de tâche posent plus de questions, qui s'avèrent de plus de meilleure qualité, que les autres élèves. On retrouve ce résultat dans une étude de Lin, Hong et Cheng (2008) qui ajoutent que l'implication des élèves est plus grande dans leur apprentissage. Pour leur part, Wu et Hsieh (2006) étudient la construction des explications par les élèves dans un environnement scolaire de type investigation scientifique. Ils identifient quatre sortes de compétences en jeu : identification des relations causales, description des procédures de raisonnement, utilisation des résultats des mesures et évaluation des explications. Ils montrent que le recours à un enseignement par investigation scientifique amène les élèves à progresser dans les trois premières compétences mais qu'il ne provoque qu'une légère amélioration pour la quatrième. Toplis (2007) étudie de son côté les réactions des élèves face à des résultats anormaux dans une démarche d'investigation. Il montre que les élèves arrivent à les repérer mais qu'ils rencontrent des difficultés pour mettre en œuvre une approche scientifique adaptée afin de trouver une solution.

D'autres travaux étudient les effets sur les apprentissages des élèves en prenant en compte des variables comme l'ethnicité, l'origine socio-économique (Lee, Buxton, Lewis & Leroy, 2006) avec parfois des méthodologies permettant d'analyser les effets à moyen ou à long terme (Marx et al., 2004). On retrouve cette question de l'effet à long terme sur les attitudes des élèves envers les sciences dans une étude de Gibson et Chase (2002). Ces auteurs montrent que l'enseignement par investigation scientifique sur plusieurs années a des effets bénéfiques sur les attitudes vis-à-vis des sciences et augmente l'intérêt pour les carrières scientifiques.

De leur côté, Hume et Coll (2008) mettent en évidence les difficultés introduites par les types d'évaluation utilisés par les enseignants qui limitent en fait les acquisitions des élèves, ceux-ci apparaissant de ce fait plus superficiels que créatifs et critiques.

Dans le cadre du « *Inquiry Synthesis Project* », Minner et al. (2009) font le bilan des recherches menées de 1984 à 2002 sur les effets de l'enseignement par investigation sur les apprentissages des élèves. L'analyse statistique des 138 études repérées dans la littérature

en langue anglaise indique un effet positif de ces pratiques d'enseignement, notamment lorsqu'elles mettent l'accent sur l'activité intellectuelle des élèves et sur les phases de conclusion tirées des données. Ces stratégies d'enseignement paraissent mieux à même d'augmenter la compréhension des contenus conceptuels que celles qui ont recours à des techniques plus passives.

Rudolph (2005), quant à lui, étudie les conséquences du recours à une méthode pédagogique par investigation sur la compréhension de la nature de la science chez des élèves américains. Il montre que le type de tâches proposé intervient dans cet apprentissage. En fait, le problème vient de l'image de la science donnée aux élèves, trop souvent confondue avec des activités d'ingénierie, qui s'avère de ce fait trop décalée par rapport à la science qui se pratique réellement. Rudolph note que les pratiques enseignantes sont très variées et il évoque un continuum allant du simple au complexe poursuivant soit des buts cognitifs, soit développant des activités pratiques ou des projets technologiques, créant ainsi une confusion entre sciences et technologie chez les élèves. Ces pratiques enseignantes donnent l'impression que seule la technologie aurait des liens avec la société, ce qui conduit à fausser la représentation de la science auprès des élèves. Pour Rudolph, il s'agit au contraire de montrer que la science n'est pas seulement une affaire d'experts mais qu'elle nécessite, elle aussi, la participation des citoyens.

Le panorama des recherches internationales menées récemment sur les pratiques d'enseignement des sciences physiques basées sur l'investigation montre des effets plutôt positifs sur les apprentissages des élèves mais aussi des difficultés rencontrées par les enseignants pour modifier leurs pratiques. Nous nous proposons maintenant d'étudier la situation française.

8.2 Contexte français

La situation française comporte certaines spécificités comme le montre une rapide analyse historique des prescriptions au niveau de l'enseignement primaire. Les premières études concernant les modifications de curriculum au niveau secondaire concernant la démarche d'investigation semblent obtenir des résultats de recherche cohérents avec ceux obtenus au niveau international. D'autres travaux, auxquels nous participons actuellement (Beorchia & Boilevin, 2009; Boilevin & Brandt-Pomares, 2009; Boilevin, Brandt-Pomares, Givry & Delsérieys, 2010; Morge & Boilevin, 2007) mettent en évidence certaines particularités françaises.

8.2.1 Pratique de la démarche d'investigation à l'école primaire

L'enseignement des sciences et de la technologie est revenu sur le devant de la scène à la fin du XX^{ème} siècle avec l'introduction de l'opération « Main à la pâte » puis du Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie (Preste) dans l'enseignement primaire. Mais avant d'analyser la situation d'un point de vue didactique, une mise en perspective historique semble intéressante.

8.2.1.1 Repères historiques

Deux grands modèles de l'enseignement des sciences à l'école⁸⁸, reposant sur des repères épistémologiques et psychologiques différents, ont existé jusqu'à la fin du XX^{ème} siècle : la leçon de choses et les activités d'éveil.

⁸⁸ L'histoire de l'enseignement des sciences à l'école en France est détaillée dans plusieurs ouvrages (par exemple Ajchenbaum-Boffety, 2004). De son côté, Lebeaume (2008) analyse le problème de la construction curriculaire et de la progressive différenciation disciplinaire de l'enseignement scientifique et technologique.

La leçon de choses, introduite par Marie Pape-Carpantier dès 1867 dans les salles d'asile où elle est considérée comme une méthode d'enseignement, devient plus tard une discipline scientifique de l'enseignement primaire. Pour Ternat (2005), la leçon de choses a évolué entre méthode active et démarche scientifique. Et suivant les points de vue pris sur l'activité et la science, elle a navigué entre deux axes contradictoires : la culture du concret et un préambule à la démarche scientifique. Mais dans tous les cas, la leçon de choses est caractérisée par une approche inductive où l'observation est privilégiée. Devenant leçon de sciences au cours moyen et supérieur, les ambiguïtés du départ sont toujours là comme le montre une analyse des écarts entre Instructions officielles, contenus des manuels scolaires et pratiques de classe (Ternat, 2005). Finalement, le modèle de la leçon de choses « a pu donner des leçons intéressantes qui donnaient une large part à l'activité des élèves. Mais il a pu conforter également un modèle plus caricatural où il n'y a pas la place pour les vraies questions des élèves, un modèle dans lequel c'est le maître qui pose des questions que les élèves ne se posent pas, le maître qui fait observer en montrant ce qu'il y a à voir, qui explique, qui déduit, qui généralise pour que la connaissance se construise dans l'esprit des élèves qui apprennent par cœur des résumés insipides preuve tangible de cette connaissance. Mais n'est-ce pas toute la société qui a conforté un certain modèle d'enseignement ? » (Ternat, 2005, p. 20).

Les activités d'éveil apparaissent en France à la fin des années 1960 et bouleversent le modèle en place. Pour Kahn (2000), ces activités, anti-positivistes et anti-empiristes, s'opposent à la vieille idée d'une progression du simple au complexe. Fortement influencé par l'approche de Bachelard, ce modèle donne la priorité à la problématisation et à la prise en compte des représentations des élèves (Orange & Plé, 2000). Malgré les différences importantes entre ces deux modèles, Kahn (2000) les considère plus comme des catégories pédagogiques que comme des catégories didactiques. Pour cet auteur en effet, « les sciences sont moins l'objet d'une didactisation particulière ... que l'illustration exemplaire d'une démarche pédagogique dont la valeur est affirmée pour tout enseignement » (Kahn, 2000, p. 19).

Mais les activités d'éveil ne vivent pas longtemps car les mutations institutionnelles transforment l'école primaire en « propédeutique de l'enseignement secondaire » et réintroduisent dès 1985 les découpages disciplinaires que l'éveil avait voulu mettre en cause (Kahn, 2000). Dix ans plus tard, l'échec est patent et l'institution propose à nouveau une rénovation des programmes qui se caractérise par un déplacement d'une culture des savoirs disciplinaires vers une culture des démarches d'apprentissage. Pour Laugier et Dumon (1998) « l'idée de discipline n'est plus imposée a priori par l'enseignant à l'élève à travers une observation dirigée, mais progressivement construite par celui-ci, sur l'ensemble des trois cycles, à travers l'élaboration de grilles de lectures des phénomènes » (p. 1261). Ces deux auteurs proposent d'ailleurs une démarche d'apprentissage possible des sciences physiques à l'école élémentaire à partir d'une analyse des fondements épistémologiques et didactiques de l'enseignement scientifique. « A l'école élémentaire, il s'agit d'abord d'une éducation scientifique : apprendre à analyser une situation, à considérer les phénomènes d'un point de vue qui n'est plus celui de la vie de tous les jours, apprendre à communiquer ce que l'on a observé, ce que l'on a fait » (p. 1274).

C'est dans cette période qu'apparaît le projet de la « Main à la pâte » proposé par Charpak à partir de l'expérience menée par Lederman à Chicago (Charpak, Léna & Quéré, 2005). Face au déclin de l'enseignement des sciences à l'école (seule une minorité d'enseignants du primaire intègrent les sciences à leurs pratiques), ce projet pédagogique vise à transformer l'institution car, pour Charpak, Léna et Quéré (1998), les efforts des mouvements pédagogiques⁸⁹ n'ont pas réussi, faute des relais nécessaires. L'enjeu est majeur car « entre

⁸⁹ Il faudrait effectivement ne pas oublier les apports de la pédagogie Freinet à travers notamment la notion de « tâtonnement expérimental » au service d'une construction du savoir. Ternat (2005) évoque aussi tout le travail accompli par les chantiers ICEM (Institut de coopération de l'école moderne) dans la fabrication d'outils

scientisme intolérant et le supermarché des croyances floues ou sectaires, une place existe pour la construction d'une rationalité authentique, respectueuse des autres démarches qui construisent l'être humain et lui permettent de vivre pleinement sa vie et ses valeurs » (Charpak et al., 1998, p. 1150). Charpak obtient vite un soutien institutionnel (Académie des sciences, Ministère de l'éducation) et l'opération se généralise avec le concours de l'INRP, après une période d'expérimentation.

Dix principes⁹⁰ sont alors rédigés auquel tout enseignant pourrait se référer pour organiser un enseignement de science :

- Les enfants observent un objet ou un phénomène du monde réel, proche et sensible, et expérimentent sur lui ;
- Au cours de leurs investigations, les enfants argumentent et raisonnent, mettent en commun et discutent leurs idées et leurs résultats, construisent leurs connaissances, une activité purement manuelle ne suffisant pas ;
- Les activités proposées aux élèves par le maître sont organisées en séquences en vue d'une progression des apprentissages. Elles relèvent des programmes et laissent une large part à l'autonomie des élèves ;
- Un volume minimal de deux heures par semaine est consacré à un même thème pendant plusieurs semaines. Une continuité des activités et des méthodes pédagogiques est assurée sur l'ensemble de la scolarité ;
- Les enfants tiennent chacun un cahier d'expériences avec leurs mots à eux ;
- L'objectif majeur est une appropriation progressive, par les élèves, de concepts scientifiques et de techniques opératoires, accompagnée d'une consolidation de l'expression écrite et orale ;
- Les familles et/ou le quartier sont sollicités pour le travail réalisé en classe ;
- Localement, des partenaires scientifiques (universités, grandes écoles) accompagnent le travail de la classe en mettant leurs compétences à disposition ;
- Localement, les IUFM mettent leur expérience pédagogique et didactique au service de l'enseignant ;
- L'enseignant peut obtenir auprès du site Internet des modules à mettre en œuvre, des idées d'activités, des réponses à ses questions. Il peut aussi participer à un travail coopératif en dialoguant avec des collègues, des formateurs et des scientifiques.

Cette transposition du projet Hands'on comporte quelques différences avec le dispositif initial, comme le note Ternat (2005). Les points 7 et 10 sont en effet spécifiques du projet français et l'aspect coopératif développé à plusieurs niveaux apparaît tout à fait intéressant.

Une enquête, menée par l'Inspection générale (Sarmant, 1999), relève les effets positifs induits par cette méthodologie sur le comportement social et moral des élèves, sur l'amélioration de l'esprit logique et des capacités d'expression et sur l'acquisition de connaissances scientifiques. Cependant, ce rapport souligne l'apparition de certaines dérives (le « tout méthodologique », le « tout technologique » ou encore le « relativisme » - le savoir de référence n'étant pas pris en compte) liées à une culture scientifique et à une formation insuffisantes des enseignants.

Quoi qu'il en soit, cette démarche pédagogique, non théorisée au départ, prend appui peu à peu sur des références épistémologiques et didactiques ou encore sur les travaux en sciences cognitives (Charpak, Léna & Quéré, 2005; Léna, 2009b). Elle reçoit le soutien de

pédagogiques que sont les BT (Bibliothèques de travail), même si leur diffusion a peut-être été limitée, ainsi que la participation de ces équipes aux premiers travaux de recherche de l'INRP sur l'enseignement scientifique (équipe de V. Host).

⁹⁰ <http://lmap.inrp.fr/>

l'UNESCO (Quéré & Jasmin, 2005) et de l'InterAcademy Panel⁹¹ (IAP) et elle inspire la rénovation de curricula dans de nombreux pays dont la France. C'est le cas par exemple du projet Pollen, mené dans une douzaine de pays européens, expérimentant un enseignement des sciences à l'école primaire basé notamment sur une démarche d'investigation et publiant des documents à l'usage des enseignants (Saltiel, 2006), des formateurs ou bien des représentants de l'institution. Par ailleurs, l'IAP organise des conférences régulières à propos de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation pour permettre le développement professionnel des enseignants du primaire mais aussi du secondaire (Harlen & Allende, 2009a) et l'information des autorités de l'éducation (Harlen & Allende, 2009b).

8.2.1.2 Rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école primaire

Le plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école primaire s'est mis en place progressivement sur trois années à partir de la rentrée scolaire 2000. Centrée sur un enseignement s'appuyant sur une démarche d'investigation définie par les programmes, ce plan s'est accompagné de multiples actions de formation des maîtres et d'un suivi par l'Inspection générale. Ainsi, un rapport (Inspection générale, 2001) étudie le rôle et la place des connaissances et de l'expérience réalisée par les élèves dans l'enseignement des sciences et de la technologie. Il insiste notamment sur certaines dérives possibles comme l'empirisme (qui laisserait croire aux élèves que tout « sort » d'une expérience indépendamment d'une référence au savoir constitué) ou bien au contraire le risque de dogmatisme. On retrouve cette préoccupation chez Sarmant (2001) qui attire l'attention sur les difficultés pouvant se présenter au cours d'un enseignement par démarche d'investigation, du questionnement à la connaissance en passant par l'expérience. Le document d'accompagnement des programmes de sciences à l'école publié par le ministère de l'éducation nationale (2002) propose d'ailleurs des repères pour la mise en œuvre d'une démarche expérimentale d'investigation en classe. Ce document présente le canevas possible d'une séquence (généralement étalé sur plusieurs séances de classe portant sur un même thème) autour de cinq moments essentiels : choix d'une situation de départ, formulation du questionnement des élèves, élaboration d'hypothèses et conception de l'investigation pour les tester, investigation conduite par les élèves, acquisition et structuration des connaissances. Il précise que l'investigation réalisée par les élèves peut s'appuyer sur diverses méthodes : expérimentation directe, réalisation matérielle, observation directe ou assistée par un instrument, recherche documentaire, enquête et visite.

Un bilan de la situation après un peu plus d'un an de mise en œuvre du PRESTE est réalisé par l'Inspection générale (Loarer, 2002). Il met en évidence « *le décalage existant entre le pilotage de la rénovation, globalement satisfaisant, et ses retombées dans les classes, plutôt décevantes* » (p. 33). Le rapport note que la généralisation est loin d'être acquise car, si les sciences et la technologie sont enseignées dans toutes les classes, seuls 15% des maîtres pratiquent une pédagogie conforme aux spécifications du plan de rénovation.

Ajoutons que les programmes scolaires publiés récemment pour le primaire⁹² préconisent un « *retour aux fondamentaux* » et semblent mettre de côté la rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie. Nous voyons ici un des effets de l'absence de pris en compte des résultats des travaux de recherche par les décideurs et une illustration de la politique en France qui accumule les réformes et les rejettent aussitôt sans aucune évaluation sérieuse.

⁹¹ <http://www.interacademies.net/>

⁹² B.O.E.N. Hors-série n° 3 du 19 juin 2008.

8.2.2 Pratique de la démarche d'investigation dans le second degré

L'introduction de la démarche d'investigation dans les programmes du second degré en France est très récente et les recherches en didactique des sciences sur ce thème s'avèrent donc peu développées pour le moment.

8.2.2.1 Cadre institutionnel

Les propositions du rapport Bach (2004) sur les programmes des disciplines scientifiques au collège ont déjà été évoquées (chapitre 3). Rappelons que ce rapport propose notamment une introduction commune à l'ensemble des disciplines du pôle sciences développant une pédagogie d'investigation expérimentale qui privilégie la construction du savoir par l'élève, pour rester dans la continuité des programmes de l'école primaire. Pour renforcer la cohérence entre les disciplines, le groupe d'experts propose, de plus, des thèmes de convergence qui « *définissent des domaines dans lesquels les enseignements disciplinaires doivent coopérer à la construction de savoirs cohérents* » (Bach, 2004, p. 2). Le rapport ajoute que « *ces thèmes, ancrés dans la société et proches des préoccupations quotidiennes des élèves, ont été choisis en fonction de l'intérêt que leur étude coordonnée peut susciter chez les collégiens* » (ibid.).

Le rapport de l'Académie des sciences (2004) insiste sur les transformations à envisager dans les modalités d'enseignement au collège et il soutient les propositions faites par le rapport Bach. L'enseignement, initialement basé sur la démarche d'investigation, visera progressivement l'approfondissement des connaissances. Cette démarche d'investigation et d'expérimentation suppose qu'une proportion raisonnable du temps soit consacré à du travail en groupe. Pour les classes de 6^{ème} et de 5^{ème}, le rapport propose une phase de transition pour passer progressivement de la science aux sciences en créant un cours unifié de sciences et de technologie. Cette proposition, déjà envisagée par Giordan et Girault (1994) est aussi développée par Charpak, Léna & Quéré (2005) et par Léna (2009a). Ceci suppose une nouvelle organisation des cours et un nouveau rôle pour les enseignants (Romanens, Salviat, Léna, Quéré & Pineau, 2007). Une expérimentation⁹³ d'enseignement intégré de science et technologie, initiée par l'Académie des sciences et par l'Académie des technologies, est d'ailleurs organisée dans plusieurs collèges depuis 2006 par le Ministère de l'éducation nationale pour évaluer la portée de ce dispositif. Par contre, selon l'Académie des sciences, les structures actuelles doivent être maintenues en classe de 4^{ème} et de 3^{ème} mais en mettant l'accent sur la convergence entre les disciplines, autour de thèmes communs.

Dans le prolongement de ce rapport, l'Académie des sciences et l'Académie des technologies (2005) émettent une série de recommandations concernant la maîtrise de la langue française, le maintien des Travaux personnels encadrés (TPE) tout au long de la scolarité secondaire, les examens, les relations à entretenir avec les métiers, la formation continue des enseignants, l'enseignement des sciences et des technologies qui ne doivent pas être entièrement cloisonnées dans la conception des programmes, leur mise en œuvre au collège et au lycée ainsi que dans la formation des enseignants. La culture scientifique et/ou technologique de ces derniers devrait être « *significativement plus large* ».

Dans une déclaration sur l'enseignement, l'Académie des sciences (2006) revient sur les difficultés actuelles de l'école. Elle met en garde contre les tendances à « *comparer la réalité d'aujourd'hui à celle d'hier ou le comportement de certains des enfants à celui de leurs aînés* ». ... « *Faire de ces cas particuliers le socle d'une généralisation et d'un jugement global désastreux serait déraisonnable – tout navrants ou scandaleux qu'ils sont – si l'on ne se réfère pas à des outils d'évaluation sérieux et de mise en œuvre dûment contrôlée* » (p. 1). L'Académie des sciences souhaite que l'enseignement des sciences et des techniques

⁹³ <http://science-techno-college.net>

« soit pensé, et assuré, en bonne proximité avec les autres matières ... afin que l'enfant et l'adolescent aient, du savoir, une vision aussi peu morcelée qu'il est possible, et qu'ils soient mieux préparés aux métiers de demain » (p. 2). Elle insiste sur la nécessité de repenser en profondeur la formation continue des enseignants.

C'est dans ce contexte que paraissent les nouveaux programmes au collège pour l'enseignement des sciences expérimentales, des mathématiques et de la technologie, applicables à la rentrée 2006. La recherche de cohérence entre ces différentes disciplines a conduit les auteurs de ces programmes à mettre l'accent sur la pratique d'une démarche d'investigation comme méthode d'enseignement privilégiée.

Le canevas d'une séquence d'investigation proposé dans les programmes s'organise autour de sept moments clés⁹⁴ :

- Le choix d'une situation – problème par le professeur :
 - analyser les savoirs visés et déterminer les objectifs à atteindre ;
 - repérer les acquis initiaux des élèves ;
 - identifier les conceptions ou les représentations des élèves, ainsi que les difficultés persistantes (analyse d'obstacles cognitifs et d'erreurs) ;
 - élaborer un scénario d'enseignement en fonction de l'analyse de ces différents éléments.
- L'appropriation du problème par les élèves :
 - travail guidé par l'enseignant qui, éventuellement, aide à reformuler les questions pour s'assurer de leur sens, à les recentrer sur le problème à résoudre qui doit être compris par tous ;
 - émergence d'éléments de solution proposés par les élèves qui permettent de travailler sur leurs conceptions initiales, notamment par confrontation de leurs éventuelles divergences pour favoriser l'appropriation par la classe du problème à résoudre. Le guidage par le professeur ne doit pas amener à occulter ces conceptions initiales mais au contraire à faire naître le questionnement.
- La formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles :
 - formulation orale ou écrite de conjectures ou d'hypothèses par les élèves (ou les groupes) ;
 - élaboration éventuelle d'expériences, destinées à tester ces hypothèses ou conjectures ;
 - communication à la classe des conjectures ou des hypothèses et des éventuels protocoles expérimentaux proposés.
- L'investigation ou la résolution de problème conduite par les élèves :
 - moments de débat interne au groupe d'élèves ;
 - contrôle de l'isolement des paramètres et de leur variation, description et réalisation de l'expérience (schéma, description écrite) dans le cas des sciences expérimentales, réalisation en technologie ;
 - description et exploitation des méthodes et des résultats ; recherche d'éléments de justification et de preuve, confrontation avec les conjectures et les hypothèses formulées précédemment.
- L'échange argumenté autour des propositions élaborées :
 - communication au sein de la classe des solutions élaborées, des réponses apportées, des résultats obtenus, des interrogations qui demeurent ;
 - confrontation des propositions, débat autour de leur validité, recherche d'arguments ; en mathématique cet échange peut se terminer par le constat qu'il existe plusieurs voies pour parvenir au résultat attendu et par l'élaboration collective de preuve.
- L'acquisition et la structuration des connaissances :

⁹⁴ B.O.E.N. Hors Série n°5 du 25 août 2005, p 6 & 7.

- mise en évidence, avec l'aide de l'enseignant, de nouveaux éléments de savoir (notion, technique, méthode) utilisés au cours de la résolution ;
 - confrontation avec le savoir établi (comme autre forme de recours à la recherche documentaire, recours au manuel), en respectant des niveaux de formulation accessibles aux élèves, donc inspirés des productions auxquelles les groupes sont parvenus ;
 - recherche des causes d'un éventuel désaccord, analyse critique des expériences faites et propositions d'expériences complémentaires ;
 - reformulation écrite par les élèves, avec l'aide du professeur, des connaissances acquises en fin de séquence.
- L'opérationnalisation des connaissances :
 - exercices permettant d'automatiser certaines procédures, de maîtriser les formes d'expression liées aux connaissances travaillées : formes langagières ou symboliques, représentations graphiques... (entraînement), liens ;
 - nouveaux problèmes permettant la mise en œuvre des connaissances acquises dans de nouveaux contextes (réinvestissement) ;
 - évaluation des connaissances et des compétences méthodologiques.

Notons enfin que l'introduction des programmes du cycle central pour les disciplines scientifiques fait le lien explicitement avec l'école primaire où la démarche d'investigation est déjà utilisée. Cette introduction indique aussi clairement que « ... *cette démarche n'est pas unique. Elle n'est pas non plus exclusive et tous les objets d'étude ne se prêtent pas également à sa mise en œuvre* »⁹⁵.

Une comparaison rapide avec le canevas proposé dans l'enseignement primaire montre une attention plus soutenue à la phase d'échanges entre élèves pour favoriser l'apprentissage de l'argumentation ainsi qu'à l'opérationnalisation des connaissances. Par contre, le choix de s'appuyer dès le départ sur une situation-problème semble très restrictif d'un point de vue épistémologique et d'un point de vue didactique.

Ajoutons que le nouveau programme de la classe de seconde⁹⁶ applicable à la rentrée 2010 semble distinguer la démarche pédagogique dite démarche d'investigation de la démarche scientifique et de l'approche expérimentale. En effet, deux paragraphes du préambule développent les liens entre « la démarche scientifique » et « l'approche expérimentale » et leurs implications pédagogiques.

8.2.2.2 Premières recherches à propos de la démarche d'investigation

Les premiers travaux menés en France sur ce sujet concernent l'analyse du savoir en jeu et la démarche pédagogique envisagée à partir de considérations épistémologiques. D'autres études s'intéressent à la pratique de la démarche d'investigation en classe ou analysent des formations des enseignants mises en place sur ce thème.

Méheut, de Hosson et Thauvin-Roy (2006) identifient deux caractéristiques essentielles dans la démarche d'investigation telle qu'elle est préconisée : la prise en considération des élèves et la démarche hypothético-déductive. Elles inventorient ensuite les démarches de recherche possibles à mettre en place en classe centrées sur la nécessité d'autonomie et d'activité cognitive des élèves et sur la mobilisation de leurs connaissances pour résoudre des problèmes. Cela demande une analyse des connaissances scientifiques visées et une précision du sens accordé à la démarche scientifique ainsi qu'à la place des élèves et de l'enseignant dans l'activité en classe. A titre d'exemple, elles comparent la démarche d'enseignement par investigation à d'autres types de démarches pédagogiques, s'opposant elles aussi aux méthodes frontales, comme les TP top⁹⁷ et les situations problèmes.

⁹⁵ B.O.E.N. Hors Série n°5 du 25 août 2005, p 6.

⁹⁶ B.O.E.N. Spécial n°4 du 29 avril 2010.

⁹⁷ <http://www.tptop.fr/>

On retrouve ce souci d'analyse du savoir en jeu chez Mathé, Méheut et de Hosson (2008) qui étudient d'une part, la transposition des démarches scientifiques en démarche d'enseignement par investigation et, d'autre part, la manière dont les enseignants se saisissent de ces nouvelles prescriptions au collège. Cette analyse de la transposition didactique s'appuie sur une analyse des fiches présentes sur certains sites web académiques et sur une série d'entretiens avec quelques enseignants. Pour ces auteurs, « *la démarche d'investigation préconisée par les programmes de collège est une démarche hypothético-déductive, se déroulant à partir d'un conflit cognitif. Il s'agit donc d'une démarche bien particulière, non seulement d'un point de vue épistémologique, mais aussi dans une perspective pédagogique* » (p. 67). En référence à Hacking (1989) et à Laudan (1977), elles montrent que cette vision épistémologique particulière ne rend pas compte de la variété des démarches propres à l'activité scientifique et risque de donner une image de la pratique scientifique trop restrictive. L'analyse des documents disponibles montre que les problèmes proposés aux élèves sont plus diversifiés (par exemple, moins de la moitié des fiches étudiées demande une formulation d'hypothèses) que ne le suggère les prescriptions et correspondent mieux à l'activité scientifique. Finalement, les auteurs notent que les tâches confiées aux élèves s'avèrent ainsi très variées et les apprentissages possibles très divers.

De leur côté, Larcher et Peterfalvi (2006), à partir de considérations épistémologiques, et sur les bases des théories de l'apprentissage, situent la démarche d'investigation parmi la diversité des démarches pédagogiques possibles pour l'enseignement des sciences et pour répondre aux enjeux institutionnels.

Coquidé, Fortin et Rumelhard (2009) proposent, quant à eux, une réflexion historique, épistémologique et didactique sur l'investigation en milieu scolaire permettant d'envisager les intérêts et les limites de l'investigation en classe. Ils effectuent une comparaison des contextes institutionnels français, anglais et américain de la mise en œuvre de la démarche d'investigation. Les textes français pour l'enseignement primaire comme pour le collège conçoivent la démarche d'investigation comme une démarche privilégiant la construction du savoir par l'élève. Mais pour ces auteurs, « *la démarche d'investigation apparaît comme un nouveau sésame pour l'enseignement des sciences, en privilégiant la construction du savoir par l'élève, sans faire la référence à un modèle pédagogique ou une théorie de l'apprentissage* » (p. 55). En fait, « *la DI, dans les textes institutionnels français, est plus centrée sur la démarche expérimentale et le recours à la situation-problème avec développement d'un raisonnement hypothético-déductif. Il y a une conception plus restrictive de l'investigation préconisée en France, au regard de celle qui se pratique outre-Atlantique ou qui figure dans les rapports internationaux* » (p. 57). Coquidé et al. (2009, p. 57) précisent que « *l'investigation, comme mise en situation de recherche de l'élève, n'est pas une nouveauté. Elle s'inscrit dans une tradition pédagogique, issue de Dewey, Bruner, Wallon, Freinet, Piaget, où l'élève est actif. Les pédagogues, en particulier les militants de l'Éducation nouvelle, ont mis en œuvre des innovations pédagogiques et ont théorisé l'importance de l'activité de l'élève dans les apprentissages scientifiques* ». Ils comparent ensuite la démarche d'investigation, telle qu'elle est présentée dans les textes institutionnels français, à différentes formes d'investigation, l'Inquiry Based Science Education, le modèle pédagogique « investigation-structuration » (Astolfi et al., 1997) et l'enquête de Dewey (1993) en mettant en évidence les points communs et les différences entre ces modèles. L'enquête de Dewey se rapproche d'une démarche hypothético-déductive où l'élève se situerait en continuité avec sa vie quotidienne. Mais pour Coquidé et al. (2009, p. 60), « *les modèles d'apprentissage scientifique constructivistes actuels divergent de cette analyse. Envisageant la construction d'un savoir scientifique en rupture par rapport au sens commun plutôt qu'en continuité, ils considèrent le familier à la fois comme une aide et un obstacle pour les apprentissages, et ils font intervenir la nécessité d'une confrontation à un savoir scientifique* ». Le modèle pédagogique investigation-structuration prend en compte à la fois les activités d'investigation, de résolution de problème et de structuration des connaissances (Astolfi, 1985). Coquidé et al. (2009) le comparent à la démarche d'investigation et montrent les limites de cette dernière notamment vis-à-vis de la place des activités expérimentales. En

effet, « les résultats expérimentaux, obtenus lors de l'investigation, semblent suffire à construire une modélisation du réel » alors que « dans le modèle investigation-structuration, l'objectivation du savoir résulte d'un processus de décentration organisé sur des activités de dépassement des conceptions des élèves et des obstacles rencontrés » (p. 61).

Pour Laugier (2004), la démarche d'investigation instaurée au collège amène à repenser les rôles respectifs de l'enseignant et des élèves dans l'élaboration des connaissances. A partir d'une étude de cas, il analyse les difficultés et les enjeux d'une telle pratique pédagogique du point de vue des élèves et de l'enseignant et il montre la place particulière assignée à l'écrit dans l'élaboration des connaissances.

Certaines études s'orientent vers la formation des enseignants à la mise en œuvre de ces nouvelles prescriptions. Ainsi Calmettes (2007, 2008) analyse les pratiques d'enseignants débutants de sciences physiques dans le cadre d'un dispositif de formation initiale à l'enseignement par démarche d'investigation. Il étudie particulièrement la construction des compétences professionnelles en prenant comme champ de référence la didactique professionnelle. Il montre que les difficultés observées dans la gestion des interactions langagières (enseignant-élèves, élève-élève), du temps didactique et dans la rigueur scientifique ne sont pas toujours conscientisées par les enseignants en formation. De plus, il met en évidence une grande variabilité dans la mise en œuvre des séances de classe, pourtant préparées en commun par les professeurs stagiaires. L'étude montre que cette variabilité des pratiques pourrait être, au-delà du contexte de formation, à mettre en relation avec des représentations personnelles sur l'épistémologie des sciences physiques et sur le rôle d'un enseignant. Une autre étude menée par Calmettes (2009) dans le cadre d'une analyse de situations de classe ordinaire montre que l'opérationnalisation des instructions officielles à propos de la démarche d'investigation ne va pas de soi. Pour Calmettes, ce type de démarche d'enseignement constitue une nouvelle classe de situations à gérer pour les enseignants, qu'ils soient débutants ou expérimentés, et nécessite une formation adaptée.

8.2.3 Modélisation des séquences d'apprentissage par investigation scientifique

En France, des travaux en didactique des sciences physiques ont conduit à produire des séquences d'enseignement dont la mise en œuvre a été testée en vraie grandeur dans des classes dans les années 80-90. Parmi celles-ci, certaines peuvent être considérées *a posteriori* comme des séquences d'investigation. La recherche que nous présentons ici (Boilevin et Morge, 2007; Morge et Boilevin, 2007; Boilevin, Morge & Delserieys, 2010) nous a conduit à identifier ces travaux et à proposer une modélisation de ces séquences d'apprentissage par investigation scientifique.

8.2.3.1 Objectif de la recherche

L'objectif de la recherche est de contribuer à la caractérisation des situations d'enseignement par investigation scientifique. Pour cela, il s'agit : d'identifier et de recueillir des séquences d'investigation issues de la recherche en didactique ; de rendre compte de façon unifiée de l'ensemble des séquences d'enseignement recueillies ; de considérer les éléments communs ainsi dégagés comme des critères permettant de distinguer une séquence d'enseignement de type investigation scientifique d'un autre type de séquence. L'enjeu est de mettre à disposition une aide aux enseignants, en exercice ou en formation initiale, sous forme d'outils théoriques et pratiques permettant un usage raisonné de cette nouvelle démarche d'enseignement.

8.2.3.2 Différents types de séquences de classe

Les auteurs des séquences d'enseignement recueillies qualifient leurs séquences de séquence PACS, de situation problématique ouverte, de situation adidactique, de situation-problème ou bien encore d'activités de modélisation (Morge, 2007).

Dans les situations d'enseignement de type PACS (Prévision Argumentation Confrontation Synthèse), il est demandé tout d'abord aux élèves de prévoir un phénomène. Ils sont ensuite invités à argumenter leurs prévisions en utilisant leurs connaissances disponibles. Une double confrontation est alors engagée : confrontation entre les prévisions et les argumentations des élèves et confrontation entre les prévisions et les résultats expérimentaux. Le but de cette dernière confrontation est de tester la validité des connaissances mises en jeu dans l'argumentation. Enfin, la synthèse permet de faire le bilan des connaissances validées ou rejetées et des arguments associés à cette validation ou à ce rejet.

Le déroulement d'une séance de résolution de problème ouvert a été décrit au chapitre trois de la présente note de synthèse. Elle débute par la formulation du problème aux élèves. Par exemple, *Ma chandelle est morte. Mon ami Pierrot me prête une lampe et une pile. Suis-je sûr de pouvoir m'éclairer ?* (Boilevin, 2000). Ensuite, la résolution se déroule en quatre étapes plus une synthèse. La première étape, nommée analyse quantitative et problématisation, comporte plusieurs tâches : les élèves doivent se représenter le déroulement dans le temps du problème, exprimer la question en terme de grandeur physique (en passant du registre des objets et des phénomènes à celui des modèles et des théories) et lister les conditions qu'il est nécessaire de préciser pour résoudre le problème. Ensuite vient l'étape d'émission d'hypothèses où les élèves établissent des liens hypothétiques entre la grandeur physique et la variation des facteurs qui agissent sur cette grandeur. La troisième étape est celle de l'élaboration d'un chemin de résolution. Il s'agit pour les élèves de mobiliser une loi, un théorème qui permettrait de relier la(les) grandeur(s) physique(s) aux variations des facteurs. La dernière étape consiste à comparer les relations hypothétiques établies au cours de la seconde étape avec les relations obtenues à l'aide de la loi ou du théorème. Enfin, un retour synthétique sur les différentes étapes suivies pour résoudre le problème assure une fonction d'apprentissage auprès des élèves en fin de séance.

Une situation adidactique (Brousseau, 1986) se différencie des autres situations d'enseignement par le fait que la situation contraint à elle seule l'élève à construire la connaissance visée. Autrement dit, l'enseignant n'intervient pas, au moins au début de la séance pour valider ou invalider les productions des élèves. Ces situations prennent souvent la forme d'un jeu pour les élèves. Ces deux caractéristiques sont à l'origine du terme de situation adidactique puisque l'élève ne reconnaît pas dans un premier temps l'enjeu d'apprentissage qui est habituellement plus clairement affiché par l'enseignant à travers les tâches qu'il propose et la gestion des activités afférentes.

La notion de situation-problème a été analysée au chapitre trois. Une de ses principales caractéristiques, par rapport aux autres séquences d'enseignement, est la prise en compte dans la séquence de l'existence d'un obstacle à l'apprentissage des élèves. L'un des principaux objectifs poursuivis dans ce type de séquence est la prise de conscience de l'existence d'un problème pour les élèves. Cette prise de conscience justifie et donne du sens à la construction d'une nouvelle connaissance. Selon les auteurs, des caractéristiques complémentaires peuvent être attribuées aux situations-problèmes, mais l'émergence d'un problème lié à l'utilisation d'une conception qui fait obstacle à l'apprentissage reste au cœur de la construction d'une situation-problème.

Les séquences portant sur la modélisation sont, quant à elles, plutôt orientées vers un processus de construction progressive de connaissances plutôt que vers un processus de déstabilisation des conceptions des élèves comme c'est le cas des situations-problèmes. Ces séquences mettent également l'accent sur l'activité de modélisation, c'est-à-dire la démarche de construction de modèle par les élèves, plutôt que sur l'acquisition par les élèves d'un modèle déjà établi.

8.2.3.3 Cadres théoriques

Les séquences de classe construites et testées par les chercheurs en didactique des sciences sont issues de méthodologies de recherche et de cadres théoriques explicites. Cela permet d'identifier quelques-uns des aspects théoriques sur lesquels repose la méthode d'enseignement-apprentissage par investigation (Boilevin, 2007a).

Certaines séquences d'investigation (situation-problème, méthode PACS) empruntent un certain nombre d'éléments à la théorie piagétienne. En effet, le découpage et l'emboîtement des situations assurant la progression permettent aux mécanismes d'accommodation-assimilation de fonctionner et amènent ainsi les élèves à progresser dans l'appropriation des connaissances. Notons aussi que si le travail de groupes est privilégié par l'enseignant, les interactions sociales entre pairs vont faciliter l'apprentissage (Vygotski). En effet, les conceptions des élèves sont exprimées et discutées, ce qui permet une mise en échec éventuelle de ces « théories alternatives ». La situation-problème comme la méthode PACS seraient alors des dispositifs didactiques reposant sur l'hypothèse socioconstructiviste au même titre que d'autres dispositifs (situation problématique ouverte, situation adidactique).

Ces méthodes d'enseignement-apprentissage s'appuient sur certaines idées contemporaines concernant l'épistémologie des sciences. Ainsi, l'étude des rapports entre théorie et faits d'observation a amené les épistémologues contemporains à abandonner une vision inductiviste de la démarche scientifique pour une approche hypothético-déductive. Cet aspect est pris en compte, par exemple, dans la situation-problème comme dans la situation problématique ouverte ou la méthode PACS. De plus, les connaissances scientifiques sont définies au sein d'une communauté scientifique et elles ne sont validées qu'à un moment donné de l'histoire de cette communauté. Les modèles élaborés ont donc un caractère révisable, mais l'histoire des sciences a montré que ces changements ne sont pas gratuits et qu'ils sont liés à un changement de questionnement pour rendre compte de nouveaux phénomènes. Ce dernier aspect apparaît particulièrement présent dans la situation-problème ou dans la méthode PACS.

Ces méthodes peuvent alors être rapprochées de la pratique de la recherche scientifique. Elles comportent en effet trois éléments essentiels : une tâche à effectuer ou un problème à résoudre, un travail en équipe et la communication des résultats des recherches aux autres équipes. Ces éléments répondent à des conditions psychologiques, épistémologiques et didactiques qui doivent permettre un apprentissage des sciences moins dogmatique.

Le premier élément est l'occasion de faire développer certaines activités cognitives par les élèves comme la représentation de la situation étudiée en classe, l'émission d'hypothèses et le questionnement. Il répond ainsi à une condition psycho-cognitive (un point de vue constructiviste sur l'apprentissage) mais aussi à une condition didactique (la prise en compte des conceptions initiales et la mise en échec éventuelle des théories alternatives des élèves). Le second élément donne la possibilité aux élèves de travailler à plusieurs. Il leur donne ainsi une image de la pratique scientifique plus conforme à la pratique actuelle des chercheurs (condition épistémologique). De plus le travail à plusieurs permet aux élèves de construire des connaissances pendant les échanges et les discussions. Il s'agit alors d'une seconde condition psycho-cognitive : un point de vue socioconstructiviste sur l'apprentissage. Le dernier élément répond lui aussi à une double condition épistémologique et psycho-cognitive. D'une part, le produit de la recherche d'une équipe se partage avec l'ensemble de la communauté scientifique. D'autre part, la connaissance est un processus de construction qui nécessite une communication et une validation entre les individus.

Pour que ces séquences d'investigation soient l'occasion de véritables apprentissages chez les élèves, certains points méritent toute l'attention des enseignants pendant la phase de préparation de la séance et au cours de la mise en œuvre en classe : travail en commun, communication, rôles du professeur, présentation et habillage de la tâche.

8.2.3.4 Critères permettant de repérer une séquence d'investigation scientifique

A partir d'une analyse de ces séquences, nous proposons (Boilevin et Morge, 2007; Morge, 2007; Boilevin, Morge & Delserieys, 2010) quelques critères permettant de distinguer une situation d'investigation d'une autre situation d'enseignement. Une séquence d'enseignement serait une séquence d'investigation si l'élève effectue un ou des apprentissages au cours de la séquence, en réalisant des tâches qui ne sont pas uniquement des tâches d'ordre expérimental, et en participant à la validation des productions des autres élèves, autrement dit en participant au choix argumenté entre plusieurs méthodes, plusieurs hypothèses, plusieurs protocoles expérimentaux, plusieurs explications, plusieurs modèles.

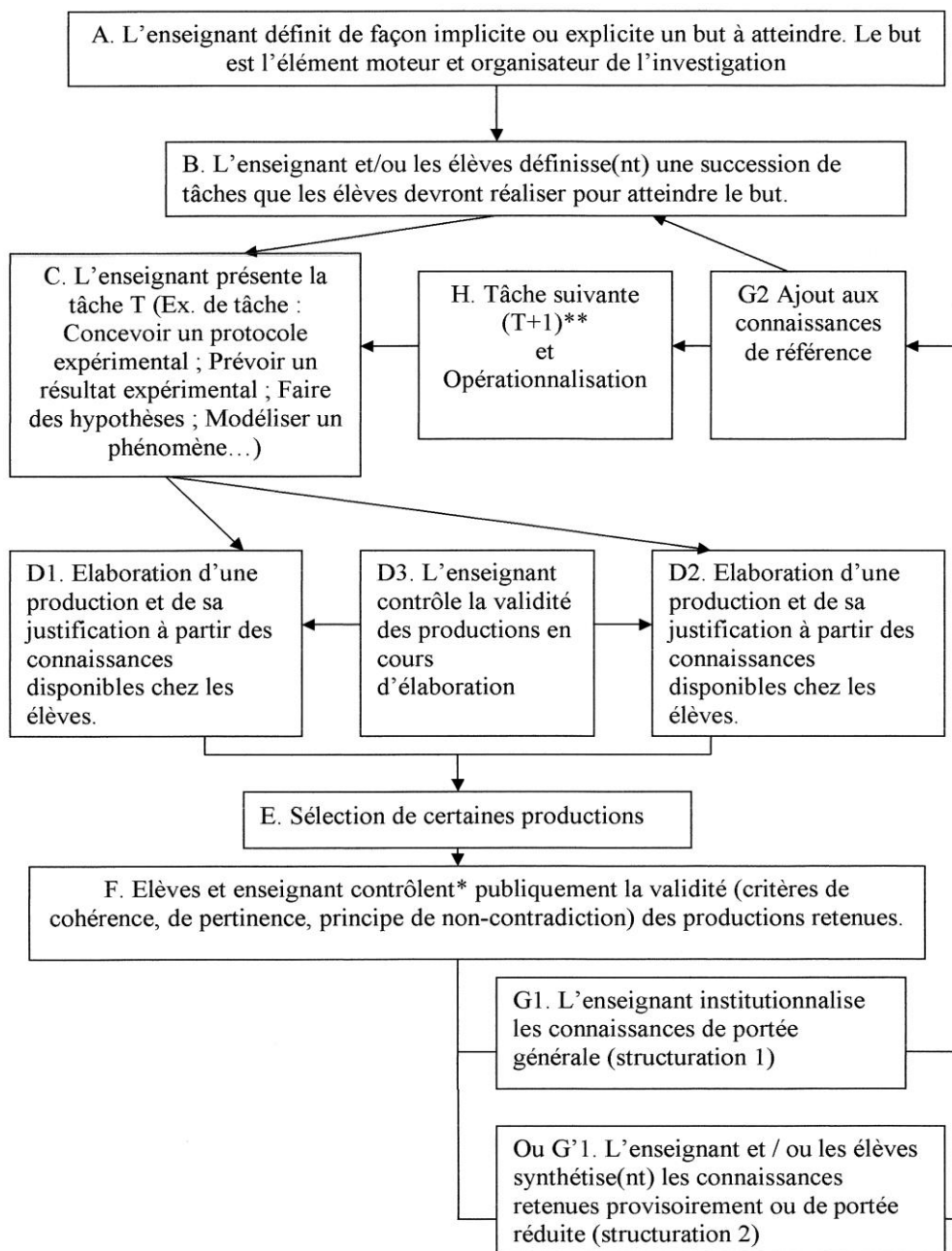
Cette « définition » dépasse le cadre défini par les Instructions officielles et va dans le sens d'une diversification des pratiques d'enseignement en permettant la prise en compte de la diversité des enjeux de l'enseignement des sciences. En même temps, cette « définition » de l'investigation montre une grande homogénéité concernant la place de l'élève dans la construction du savoir, l'importance donnée à l'argumentation et au débat scientifique dans l'apprentissage, l'importance et la nature du rôle de l'enseignant dans la gestion de ces séquences.

Cette « définition » par critères constitue aussi un outil permettant de repérer des séquences d'enseignement qui ne prennent pas en compte l'investigation dans son ensemble. Par exemple, le critère de l'existence de tâches qui ne soient pas uniquement d'ordre expérimental est pertinent pour repérer des séquences qui ne prennent pas en compte la dimension conceptuelle ou théorique. C'est le cas de nombreux documents disponibles sur Internet qui occultent totalement la réalisation de tâches d'ordre conceptuel par les élèves. La nécessité que les séquences d'investigation soient avant tout des séquences d'apprentissage au cours desquelles les élèves acquièrent de nouvelles connaissances scientifiques est un axe fondamental de l'investigation. Il ne s'agit pas de faire de l'investigation pour faire de l'investigation, mais pour permettre aux élèves d'apprendre les sciences et sur les sciences.

8.2.3.5 Modélisation des séquences par un enchaînement de tâches

Les séquences repérées dans notre étude diffèrent les unes des autres à la fois par la nature et l'ordre des tâches proposées aux élèves, et par le fait de privilégier les dimensions épistémologiques (modélisation, PACS) ou les dimensions plus pédagogiques ou didactiques (situation – problème, situation adidactique). En revanche, elles partagent toutes cette volonté de privilégier la construction du savoir par l'élève. Elles partagent également une structure commune que nous avons appelée structure par « enchaînement de tâches » (Morge, 2007). En effet, ces séquences d'enseignement présentent la caractéristique commune de proposer aux élèves une succession de tâches. La nature et l'ordre des tâches se justifient par la volonté d'atteindre le but de l'investigation. Nous parlons d'enchaînement de tâches car dans toutes les séquences que nous avons observées, les connaissances produites au cours d'une tâche T sont ensuite utilisées dans les tâches T+1, T+2, etc. Ainsi, comme le montre la figure 10, le déroulement d'une séquence d'investigation peut être représenté par un ensemble d'actions (Morge, 2008) repérées par des lettres (A, B, C, D, etc.). Lorsque des événements se déroulent de façon simultanée, ils portent la même lettre, avec un numéro différent (D1, D2, D3).

Ce modèle de déroulement d'une séquence d'investigation que nous proposons constitue ainsi un outil pour analyser, comparer, choisir, concevoir et mener des séquences d'investigation. Ce modèle ne constitue pas une prescription à suivre au pied de la lettre. Il constitue un outil qui incite l'enseignant à expliciter les choix réalisés au cours de la préparation et de la mise en œuvre des séquences d'investigation et à s'interroger sur ses propres pratiques.



* Action potentiellement problématique. Il y a un problème si l'apparition d'une contradiction ne peut être levée sans remettre en cause les connaissances tenues pour acquises par les élèves, c'est-à-dire sans remettre en cause leurs conceptions.

** La réalisation d'une tâche correspond à une boucle complète de C à H.

Figure 10 : Modélisation des actions réalisées au cours d'une séquence d'investigation (Morge, 2008)

L'analyse de quelques exemples de séquences d'investigation (Morge & Boilevin, 2007) montre la capacité de notre modèle à rendre compte de façon unifiée des différents types de situations d'investigation. C'est le cas par exemple de l'analyse d'une séquence problématique ouverte réalisée à l'aide de ce modèle (Morge & Boilevin, 2007, p. 148) que nous présentons ci-dessous.

Tirée des travaux de Dumas-Carré et Goffard (1997), cette séquence place l'élève dans la situation de résoudre un problème de mécanique dont il a participé à l'élaboration et non pas dans une situation de résoudre un problème classique (déjà modélisé).

Les tâches proposées aux élèves dans ce type de dispositif sont l'occasion de faire développer des activités intellectuelles intervenant dans une recherche scientifique comme problématiser et modéliser (exprimer des phénomènes en termes de concepts physiques, choisir et préciser une situation à étudier) et émettre des hypothèses (envisager les facteurs dont dépendent les grandeurs recherchées).

L'énoncé du problème ouvert utilisé est le suivant : « un piéton veut traverser une voie à grande circulation. Une voiture arrive sur cette voie. Le piéton traversera-t-il ? » Comme l'indiquent Dumas-Carré et Goffard, ce problème ne fait pas intervenir un trop grand nombre de concepts de physique et le chemin de résolution est unique. Ce type de problème apparaît donc tout indiqué pour familiariser les élèves et l'enseignant à cette nouvelle activité en classe.

Nous proposons une nouvelle description de cette séquence en nous appuyant sur le modèle de description par enchaînement de tâches : Problématiser, émettre des Hypothèses, Résoudre le problème, Analyser et Comparer. Les tâches 1 et 2, comme nous le verrons plus loin, peuvent être menées en parallèle. Cet enchaînement de tâches sera suivi éventuellement d'une nouvelle série pour ouvrir sur des modélisations différentes de façon à assurer une fonction d'apprentissage.

But : Construire et résoudre un problème à partir d'un problème ouvert

Tâche 1 : Les élèves précisent la situation à étudier et modélisent la situation ouverte

Nous retrouvons l'enchaînement des actions de notre modèle présenté en partie 1 :

Action C : l'enseignant présente l'énoncé du problème ouvert.

Action D : les élèves, répartis en groupes, essaient d'analyser la situation. Les discussions commencent la plupart du temps par des questions du type : « ça dépend ». Dans le cas qui nous préoccupe ici : « où se trouve la voiture ? À quelle vitesse roule-t-elle ? Le piéton marche-t-il ou court-il ? Quelle est la largeur de la route ? ».

Les questions amènent les élèves à introduire des grandeurs physiques qui n'apparaissent pas dans l'énoncé initial du problème.

Action E : un représentant de chaque groupe d'élèves vient écrire au tableau les éléments de réflexion auxquels ils ont abouti après quelques minutes. Suit alors une discussion entre élèves et enseignant sur la validité de ces productions.

Action F : L'enseignant va partir de cette validation pour amener la classe à préciser la situation d'étude et une question de physique, en s'appuyant notamment sur les connaissances disponibles chez les élèves. Par exemple Dumas-Carré et Goffard (1997, p. 79): « *La voiture et le piéton se déplacent en ligne droite (trajectoires orthogonales) et à vitesse constante. La voiture arrive sur la droite du piéton, donc sur la deuxième partie de la chaussée. Quelle est la vitesse minimale à laquelle le piéton doit traverser sans risquer de se faire écraser ?* »

Tâche 2 : Les élèves sont invités par l'enseignant à émettre des hypothèses a priori sur le déroulement de la situation

Dans le cas précis analysé, l'étude commencée dans la tâche 1 a conduit les élèves à identifier la plupart des paramètres à prendre en compte.

Il s'agit ici de discuter les dépendances entre paramètres en travaillant par exemple les sens de variation (plus la voie est large, plus la vitesse du piéton doit être grande).

On retrouve l'enchaînement d'actions C à F comme dans la tâche 1. Bien souvent, cette tâche 2 peut être traitée en même temps que la tâche 1 pour gagner du temps et pour aider les élèves à distinguer la phase de problématisation de la phase émission des hypothèses.

Tâche 3 : Les élèves élaborent un chemin de résolution et résolvent le problème.

Ici, il est nécessaire de comparer la durée de traversée du piéton (t_p) et la durée mise par la voiture pour arriver jusqu'au piéton (t_v). Les élèves n'ont en général aucun mal à résoudre l'inégalité $t_p < t_v$. Mais certains rencontrent des difficultés car la question posée par la classe se rapporte à la vitesse et non au paramètre temps.

Comme dans la tâche précédente, les productions des groupes sont discutées par l'intermédiaire de l'écrit noté au tableau par un représentant de chaque groupe.

Tâche 4 : Les élèves confrontent leurs hypothèses aux solutions obtenues

On vérifie la cohérence des solutions obtenues avec les hypothèses formulées initialement. Une analyse dimensionnelle de l'expression obtenue par le calcul peut aussi être envisagée. Enfin, une application numérique peut être l'occasion de travailler les ordres de grandeurs et de revenir sur l'éducation à la citoyenneté (code de la route et respect des limitations de vitesse).

L'opérationnalisation (action G du modèle) peut s'appuyer sur une nouvelle modélisation (mouvement rectiligne accéléré, trajectoires non orthogonales, etc. .) qui dépend bien évidemment des connaissances disponibles chez les élèves.

8.2.3.6 Conclusion

Finalement, à partir d'une caractérisation de séquences de classe produites par la recherche en didactique des sciences, notre travail permet de définir une démarche d'apprentissage par investigation scientifique à partir des critères suivants :

- La séquence comprend-elle un enchaînement de tâches dont l'enseignant délègue la réalisation à ses élèves ?
- Les élèves élaborent-ils des productions en réponse aux tâches ?
- Les élèves ont-ils les moyens de participer au contrôle des productions et y participent-ils ?
- Le contrôle des productions s'effectue-t-il par la recherche de leur validité, leur cohérence (par opposition à la stricte recherche de correspondance entre la production et le savoir scientifique de l'enseignant) ?
- Y a-t-il apprentissage des élèves au cours de l'investigation ou s'agit-il d'un réinvestissement ?
- Des tâches d'ordre conceptuel sont-elles à la charge de l'élève ?

Cette étude, centrée sur la caractérisation du nouveau dispositif d'enseignement, n'aborde qu'une partie de la transposition didactique de la démarche d'investigation scientifique en classe. Bien d'autres questions restent à traiter pour étudier les effets de cette démarche d'apprentissage sur la relation didactique. Par exemple, comment fonctionnent les interactions didactiques ? Comment l'enseignant et les élèves arrivent-ils à gérer leurs nouveaux rôles dans les différents moments de la situation didactique ? De plus, au cours des séances apparaissent des productions écrites individuelles d'élèves, des productions de groupes d'élèves, des productions écrites par un élève pour lui-même ou à destination de la classe etc. La place des productions écrites dans ce type d'activité serait donc à étudier de près : quelle utilisation de ces différents types d'écrits pourrait favoriser l'apprentissage des élèves ? Comment articuler apprentissage scientifique et apprentissage de l'écrit ? Comment passer des productions d'élèves aux traces écrites qui seront retenues par la classe et validées par l'enseignant ? Les questions concernant l'évaluation des élèves s'avèrent aussi importantes : celle-ci doit-elle porter uniquement sur les connaissances scientifiques ou sur la capacité à s'interroger, à organiser une investigation, ou bien encore sur les connaissances sur la science ?

8.2.4 Étude de l'appropriation de la démarche d'investigation par des enseignants de sciences et technologie au collège

La nécessité d'une formation adaptée des enseignants à cette nouvelle pratique pédagogique est au cœur du travail que nous menons depuis deux ans avec plusieurs membres de l'équipe Gestepro de l'UMR ADEF (Boilevin & Brandt-Pomares, 2009; Boilevin, Brandt-Pomares, Givry & Delserieys, 2010). Cette recherche s'attache à étudier l'influence du travail d'un groupe de chercheurs et d'enseignants de sciences physiques, de sciences

de la vie et de la Terre et de technologie sur l'appropriation par ces derniers des prescriptions encourageant la mise en œuvre de la démarche d'investigation.

Nous faisons l'hypothèse qu'un accompagnement des enseignants pour leur permettre de s'interroger et de s'outiller conceptuellement devrait les aider à mettre en œuvre des dispositifs d'enseignement-apprentissage fondés sur l'investigation allant au-delà d'une exécution procédurale des différentes étapes de la démarche d'investigation citées dans les instructions officielles. En effet, le développement de pratiques collaboratives entre praticiens et chercheurs, objectivant les expériences, doit permettre de rapprocher le monde de la recherche et celui des pratiques d'enseignement (Vinatier & Altet, 2008).

La mise en œuvre effective d'un enseignement fondé sur l'investigation suppose, en amont, l'appropriation de cette nouvelle méthode pédagogique par les enseignants au-delà d'une mise en application de tâches d'exécution. Nous considérons l'activité enseignante comme une activité dans laquelle l'élaboration de situations d'enseignement-apprentissage occupe une place centrale. Nous nous attachons ici à étudier l'influence du travail d'un groupe de chercheurs et d'enseignants sur l'appropriation par ces derniers d'une tâche prescrite. Nous regardons en particulier si ce travail permet de mettre en évidence les enjeux d'un enseignement fondé sur l'investigation ainsi que les conditions favorisant sa mise en œuvre par les praticiens.

Dans ce cadre, l'élaboration des situations d'enseignement peut être considérée comme objet de l'activité et celle-ci peut être analysée sous l'angle de la théorie de l'activité et notamment du point de vue de sa dimension collective. En effet, la théorie de l'activité permet de rendre compte de l'apprentissage et du développement en tant que processus médiatisé sur le plan sémiotique. Cette médiation est essentiellement étudiée à partir du discours dans l'approche socioculturelle (Wertsch, 1991) et de l'activité dans son entier dans la théorie de l'activité (Engeström, 1993). Les deux approches visent à comprendre comment les processus historico-socio-culturels influencent le fonctionnement humain. Dans l'analyse de l'activité, Daniels (2004) se propose d'étendre l'analyse de la production des artefacts culturels au discours. Pour lui, quand les artefacts culturels prennent la forme de discours pédagogiques, leur structure doit aussi être analysée dans le contexte de leur production. Il rejoint en cela Bernstein (2000) pour qui l'analyse du discours doit permettre de décrire les circonstances dans lesquelles le discours est produit, les modalités de cette forme de production culturelle et leur implication dans l'apprentissage et le développement.

En considérant les productions collectives de documents d'un groupe centré sur la démarche d'investigation et travaillant à l'élaboration de situations d'enseignement, il apparaît que leur analyse permet de dégager l'orientation que prend l'activité du groupe.

Le groupe de développement mis en place (chercheurs, enseignants) vise à créer un collectif d'acteurs permettant une co-explicitation des savoirs de l'expérience (Vinatier, 2008). En effet, les travaux sur la transposition didactique ont montré comment les prescriptions sont modifiées par tout ce qui intervient avant la mise en œuvre des savoirs prescrits en classe. Il s'agit d'accompagner la transposition pour les enseignants qui expérimenteront de nouvelles situations d'enseignement –apprentissage en amenant les membres du groupe à partager d'abord une culture commune au sujet de l'enseignement fondé sur l'investigation.

Plusieurs phases peuvent être distinguées dans le travail mené pendant deux années à raison d'une rencontre par trimestre et d'un travail d'intersession. Dans un premier temps, il s'agit d'élucider et d'explicitier ce que prescripteurs et praticiens désignent à propos de la pratique pédagogique fondée sur la démarche d'investigation. Pour cela, un travail de recherche documentaire, d'analyse de documents et d'échanges est initié au sein du groupe. Chaque participant dépose ses contributions sur l'espace numérique de travail (ENT) dédié au groupe. On y trouve ainsi des prescriptions diverses, des documents disponibles sur Internet ou dans des manuels scolaires et des documents préparatoires de séances de classe conçus par les participants du groupe. Des présentations, réalisées pendant les séances de travail, conduisent les participants à exposer leur vision de la démarche

d'investigation en classe en explicitant leurs propres critères. Pour cela, ils sont invités à présenter au groupe ce qu'ils considèrent comme des exemples de « bonne » ou de « mauvaise » démarche d'investigation en classe. A l'issue de cette première phase de travail, un certain nombre de mots utilisés sont listés pour constituer une première ébauche de lexique méritant une étude complémentaire.

De plus, cette phase de travail a mis en évidence au sein du groupe des questions d'ordre épistémologique et didactique. Il est alors envisagé de construire un cadre théorique au sein du groupe. Pour cela, des lectures sont réparties entre les praticiens et donnent lieu à la rédaction de fiches de lecture et à une présentation – discussion au cours de séances de travail.

Enfin, dans la dernière phase, il s'agit d'élaborer un modèle commun d'enseignement fondé sur l'investigation à partir du cadre théorique construit précédemment.

Le corpus ainsi constitué comprend des comptes-rendus des réunions du groupe co-écrits par les participants, des différents documents déposés sur l'ENT, dont des fiches de lectures d'ouvrages et des prises de notes des chercheurs pendant les réunions. Les différents documents recueillis nous donnent accès à la trace écrite de l'activité du groupe. En analysant ces données, nous repérons les préoccupations communes des enseignants à propos de la mise en œuvre de la démarche d'investigation préconisée dans les instructions officielles et nous caractérisons la culture commune construite au sein du groupe autour de la notion d'enseignement-apprentissage par un enseignement fondé sur l'investigation. Pour cela, nous procédons à un repérage des mots-clés et des marqueurs typographiques dans les différentes traces écrites.

L'analyse lexicale des documents montre une évolution du vocabulaire au cours des séances. On passe ainsi d'un vocabulaire plutôt professionnel (aspects pragmatiques) à un vocabulaire plutôt didactique (aspects conceptuels). Les résultats peuvent être regroupés en plusieurs thèmes : identification et caractérisation des représentations des prescripteurs et des praticiens sur la pratique pédagogique fondée sur la démarche d'investigation ; éclairage par les résultats de la recherche en éducation et construction d'un modèle d'enseignement fondé sur l'investigation partagé par le groupe ; la démarche d'investigation : une situation d'apprentissage mettant en jeu un ou des savoirs. L'analyse des productions et des discussions au sein du groupe montre que les interrogations initiales des enseignants concernent les aspects pragmatiques d'un enseignement fondé sur l'investigation et qu'elles prennent un caractère plus conceptuel au cours du temps. Les enseignants retiennent le potentiel d'aide à l'apprentissage d'un tel enseignement au-delà d'une standardisation de la démarche d'investigation, conférant ainsi au questionnement initial une place prépondérante de nature à favoriser l'appropriation par les élèves de la démarche et des savoirs associés.

Finalement, le travail produit par le groupe et les différents documents produits et analysés montrent que l'éclairage par des articles de recherche en éducation a permis au groupe de construire un modèle d'enseignement fondé sur l'investigation partagé, à l'aide notamment de critères « nécessaires » : nouveau savoir mis en jeu, participation à l'émission et à la validation ou non validation d'hypothèses et dévolution.

L'expérience vécue par les praticiens et l'intérêt perçu pour les questions de recherche ont conduit le groupe à centrer son travail sur ce qui permet aux élèves d'entrer dans la démarche d'investigation et la vivre pour elle-même, condition nécessaire à l'apprentissage. On retrouve ici une partie des résultats d'études menées par le Groupe interuniversitaire projet Sophia (2009) ou par Calmettes (2009) sur l'identification par des enseignants des moments délicats à gérer dans un enseignement par investigation.

Le groupe est nourri d'un travail collectif à différents niveaux. Cette coopération interroge les différentes références disciplinaires, qu'elles portent sur les contenus ou sur les méthodes. Enfin le collectif contribue, par les différents regards croisés, à éclairer utilement la faisabilité portée par les praticiens.

A la fois objet d'enseignement et moyen d'enseignement, la démarche d'investigation laisse apparaître des confusions dans les prescriptions ou dans les pratiques et nécessite des précautions et des clarifications dans les recherches en didactique. Le travail entrepris montre clairement que l'appropriation de la démarche par les enseignants est d'autant plus pertinente qu'elle les amène à interroger en profondeur leur pratique d'enseignement à la lumière d'éclairage didactique qui les aide à adopter la démarche pour ce qu'elle porte en elle de potentiel d'aide à l'apprentissage.

La suite de la recherche prévoit d'étudier la mise en œuvre d'enseignements depuis leur conception par certains membres du groupe jusqu'à leur mise en œuvre en octroyant une importance particulière aux documents proposés aux élèves. L'accent sera aussi mis dans l'observation sur l'analyse des séquences pour étudier et définir les conditions de lancement de la démarche d'investigation et pour comprendre comment l'enseignant s'y prend pour faire en sorte que les élèves entrent dans la tâche et comment les élèves entrent effectivement dans celle-ci.

8.3 Discussion - Conclusion

Les recherches sur le rôle des activités expérimentales et les évolutions des finalités de l'enseignement des sciences ont conduit à des transformations importantes des curricula. De formes souvent stéréotypées et dirigées, les tâches scolaires recourant à l'expérience sont peu à peu remplacées par des tâches laissant beaucoup plus d'autonomie aux élèves et leur proposant des activités cognitives de plus haut niveau. La démarche d'investigation scientifique en est un exemple. Mais l'introduction d'une telle approche pédagogique conduit à de nombreuses modifications dans les activités en classe et transforme la relation didactique. De plus, à la fois objet d'enseignement et moyen d'enseignement, la démarche d'investigation laisse apparaître des confusions dans les prescriptions ou dans les pratiques et nécessite des précautions et des clarifications dans les recherches en didactique.

De ce point de vue, la plupart des études réalisées au niveau international sont plutôt de nature empirique. Et même si elles ont produit de nombreux résultats s'appuyant sur un contrôle méthodologique important, elles semblent manquer d'un cadrage théorique ou de finalisation conceptuelle. Par contre, le cadre théorique de la transposition didactique élargie, tel que nous l'avons présenté dans le chapitre deux, permet de clarifier le positionnement didactique et d'orienter ainsi les recherches. Il s'agit en effet de distinguer la physique du physicien, la physique à enseigner, la physique enseignée et la physique apprise par les élèves. La démarche d'investigation appartient aux méthodes scientifiques mais elle ne doit pas être confondue avec la démarche d'investigation en classe. Quatre niveaux en rapport avec l'investigation peuvent être distingués :

- Ce que font les scientifiques : l'investigation scientifique ;
- Ce qu'en disent les curricula ;
- Ce que font les enseignants ;
- Ce qu'apprennent les élèves et comment ils l'apprennent.

Ces quatre niveaux permettent de définir l'enseignement et l'apprentissage scientifique fondé sur l'investigation et d'analyser en particulier la transposition entre chaque niveau.

8.3.1 De l'investigation scientifique à la démarche d'enseignement fondé sur l'investigation préconisée dans les curricula

Le premier point nécessite tout d'abord une importante clarification des positions épistémologiques sur la notion de démarche scientifique : place de l'expérience et de la théorie, définition et rôle de l'hypothèse, etc. Nous avons évoqué au chapitre deux le risque de mythification des savoirs scientifiques si on oublie de prendre en compte dans

l'enseignement les pratiques afférentes à l'activité scientifique. On voit ici que la difficulté est grande car le risque de donner une image restreinte de la pratique scientifique existe aussi. En effet, les positions épistémologiques pilotent en partie les types de tâche scolaire préconisée ou prescrite et la variété des démarches à l'œuvre dans l'activité scientifique risque de ne pas être prise en compte dans les curricula si les orientations des prescripteurs s'avèrent trop restreintes comme le montre l'étude de Mathé et al. (2008).

Il s'agit donc de concevoir la pratique d'investigation en classe suffisamment ouverte pour éviter cet écueil. Mais notons avec Coquidé et al (2009) que les prescriptions françaises envisagent la démarche d'investigation de manière beaucoup plus restrictive que dans les curricula anglo-saxons, en la centrant principalement sur le démarche expérimentale et en recourant à la notion de situation-problème. De nombreux auteurs se sont exprimés sur cette questions (Gengarely & Abrams, 2009; Gyllenpalm et al., 2010; Jorde, 2009; Millar, 1996; Minner et al., 2009; Park Rogers & Abell, 2008). Pour notre part, nous considérons qu'un apprentissage fondé sur l'investigation scientifique en classe suppose que les élèves soient engagés dans :

- Des contenus scientifiques ;
- Des tâches ou des problèmes à résoudre requérant des activités cognitives et expérimentales ;
- Des discussions argumentatives et des communications entre pairs ;
- Une structuration des connaissances (méta-cognition).

Suivant le degré d'ouverture des tâches proposées aux élèves (autonomie des élèves) et le niveau d'intervention de l'enseignant, on peut alors distinguer des investigations plus ou moins complètes.

De ce point de vue, notre travail de caractérisation d'une séquence d'enseignement par investigation (Morge & Boilevin, 2007) montre que les tâches proposées aux élèves peuvent être plus riches et plus variées que celles envisagées par les instructions officielles françaises concernant le second degré en allant au-delà de la démarche scientifique de type hypothético-déductive. Par exemple, il est possible d'envisager une situation présentant un phénomène aux élèves et de leur demander de l'expliquer puisque la recherche d'une explication ou d'une interprétation d'un phénomène, la construction d'un modèle permettant d'expliquer des phénomènes sont, selon nous, des formes d'investigation. Les tâches visant à confronter des prévisions argumentées à un résultat expérimental (séquences de type PACS) font aussi partie des possibilités. En effet, dans ce type de situation, l'investigation consiste à rechercher la validité d'un cadre théorique interprétatif ou à construire celui-ci. Il est encore possible de recourir à des activités de résolution de problème-ouvert papier-crayon qui constituent là encore d'autres formes d'investigation scientifique en classe.

Si le passage de la démarche scientifique à la démarche d'investigation telle qu'elle devrait être enseignée dépend essentiellement de l'institution, d'autres membres de la noosphère interviennent dans ce processus. Concernant la situation française, on manque ici d'informations complémentaires sur les conceptions de la démarche scientifique chez les inspecteurs, les auteurs de manuels. Tous ces intermédiaires dans le processus de transposition didactique ont une influence importante et mériteraient d'être étudiés pour repérer d'éventuels décalages entre les différentes représentations de la démarche d'investigation. Par exemple, l'étude de Mathé et al. (2008) montre que les tâches d'investigation proposées par les inspecteurs ou leurs représentants sont plus variées que celles préconisées dans les programmes, proposant ainsi une vision plus riche de la démarche scientifique.

Les curricula abordent aussi l'intérêt du recours à une telle pratique d'enseignement et d'apprentissage des sciences. L'enjeu principal évoqué est d'améliorer la compréhension des concepts scientifiques ainsi que la compréhension du fonctionnement de la science. A terme, cela doit encourager les élèves à poursuivre des études scientifiques.

8.3.2 Des prescriptions concernant l'investigation scientifique en classe aux pratiques réelles

La question de la physique à enseigner suppose une précision des objectifs visés dans ce genre de pratique d'enseignement. Il semble que les orientations institutionnelles mettent en avant un apprentissage de connaissances scientifiques mais aussi un apprentissage de procédures. Ces objectifs sont poursuivis au travers de tâches scolaires amenant les élèves à faire des sciences.

Certains travaux se sont intéressés à cette deuxième étape de la transposition didactique et montrent le rôle des conceptions des enseignants sur la nature et sur le fonctionnement de la science (Crawford, 2007; Jones & Eick, 2007; Luft, 2001). Mais la situation est d'autant plus complexe que les conceptions épistémologiques sur la science et son enseignement se mêlent à celles concernant la manière d'enseigner et la manière d'apprendre. Les travaux de recherche mériteraient d'être poursuivis dans cette voie. Les études comme celle menée par Mathé et al. (2008) mériteraient d'être développées pour identifier les adaptations réalisées par les enseignants dans la construction des tâches et dans leur mise en œuvre en classe.

De ce point de vue, la recherche que nous avons menée (Morge & Boilevin, 2007) montre que la démarche d'enseignement par investigation doit prendre en considération les élèves en les amenant à s'approprier les tâches proposées par leur professeur mais aussi en les faisant participer à la validation des productions individuelles et collectives. Les résultats visant l'objectivation des pratiques enseignantes dans ce type d'activité en classe sont encore peu nombreux (Crawford, 2000; Furtak, 2006; Tang et al., 2010). Cependant, les résultats des travaux sur les interactions didactiques que nous avons menés (Boilevin, 2000; Brandt-Pomares & Boilevin, 2008) peuvent servir d'appui pour entreprendre des études sur ce thème. En effet, la place des interactions verbales dans les différentes phases de la démarche d'investigation en classe est essentielle puisque l'enjeu est de laisser les élèves s'exprimer et argumenter au même titre que l'enseignant. Mais cela nécessite de transformer les pratiques d'enseignement (Keys & Bryan, 2001). Et certaines études récentes mettent en évidence les difficultés rencontrées par les enseignants pour opérationnaliser ces nouvelles pratiques (Calmettes, 2007, 2008, 2009; Gyllenpalm et al., 2010; Vlassis et al., 2002).

8.3.3 De l'enseignement des sciences physiques fondé sur l'investigation aux apprentissages

Cette troisième étape de la transposition didactique est prise en compte dans plusieurs études récentes. Elles montrent tout le bénéfice que les élèves peuvent tirer d'un apprentissage des sciences par investigation, d'une part en termes d'acquisition de connaissances scientifiques (Blanchard et al., 2010; Hofstein et al., 2005; Minner et al., 2009; Toplis, 2007; Wu & Hsieh, 2006) et, d'autre part, en termes d'attitudes plus positives envers la science (Gibson & Chase, 2002; Lin et al., 2008). Mais les résultats des travaux montrent que les élèves ont besoin de temps pour s'adapter à ce nouveau type de situation (Holbrook & Kolodner, 2000; Flammang & Forget, 2002). Cependant, les effets à longs termes semblent plutôt bénéfiques quant à l'intérêt pour les sciences (Gibson & Chase, 2002).

De plus, le type de tâches proposées aux élèves est un facteur conditionnant le type d'apprentissage (Minner et al., 2009; Rudolph, 2005). A ce propos, la perspective envisagée par Windschitl (2003) de développer progressivement les compétences dans l'investigation scientifique sur plusieurs années en s'appuyant sur des tâches plus ou moins ouvertes semble tout à fait intéressante.

Ajoutons que le rôle des évaluations utilisées par les enseignants est peu pris en compte dans les recherches actuelles (Hume & Coll, 2008) alors que cet aspect semble crucial puisqu'il conditionne le plus souvent les apprentissages visés par les enseignants.

8.3.4 Conclusion

En ce qui nous concerne, il nous semble que l'apprentissage des sciences physiques devrait comporter trois dimensions principales : apprendre des sciences physiques, apprendre sur les sciences physiques, faire des sciences physiques. L'enseignement des sciences, qu'il vise une meilleure compréhension des sciences par le citoyen ou encore la formation des scientifiques (ingénieurs, chercheurs) devrait s'appuyer sur ces trois dimensions. L'enseignement-apprentissage fondé sur l'investigation scientifique constitue, de ce fait, une méthode pédagogique adéquate puisqu'elle permet d'aborder ces trois éléments à la fois. Les recherches sur l'apprentissage de (et par) l'investigation scientifique devraient proposer des chemins possibles pour amener les élèves à construire les compétences attendues et aussi des aides aux enseignants pour concevoir des situations d'apprentissage adaptées. Cependant, ce travail nécessite d'abord une clarification des positions épistémologiques pour définir l'objet d'enseignement, surtout si un des objectifs visés dans ce genre de pratique est d'enseigner la nature de la science. Il s'agit ensuite de clarifier les objectifs assignés à cette démarche en classe en précisant quels sont les apprentissages visés. A ce propos, nous avons déjà évoqué les limites des prescriptions françaises concernant la démarche d'investigation. La focalisation sur les contenus disciplinaires risque de laisser de côté la dimension liée à la nature et au fonctionnement de la science. Mais surtout, les prescriptions semblent oublier que les liens entre référents empiriques et référents théoriques ne se font pas naturellement mais qu'ils nécessitent des activités spécifiques. « *Si la démarche d'investigation renvoie bien à une investigation scientifique, centrée sur un problème et une exploration des solutions possibles, peut-elle se limiter à un processus linéaire (de nature inductiviste), d'une part, et à une confusion entre faits et théories, d'autre part (dans une approche empiriste) ?* » (Beorchia & Boilevin, 2009, p. 15). Et comme les prescriptions institutionnelles orientent fortement les contenus à enseigner et la manière de l'enseigner, les risques de dérive sont importants car la structuration des activités des élèves peut prendre le pas sur une structuration des apprentissages et donc sur une structuration des connaissances (Ginestié, 2008c).

Quant au sentiment d'insécurité provoqué chez les élèves et les enseignants par le recours à ces nouvelles pratiques de classe, il semble tout à fait naturel puisqu'il est lié à une modification du contrat didactique. Nous avons déjà évoqué cette difficulté à propos de l'utilisation d'activités de résolution de problèmes ouverts de physique. Les résultats que nous avons obtenus (Boilevin, 2000) montrent en particulier que les enseignants ont du mal à maîtriser leurs nouveaux rôles, ce qui est mis en évidence dans le cas de la démarche d'investigation par Calmettes (2009). Les recherches devraient s'intéresser particulièrement aux pratiques interactives à l'œuvre dans ce type de méthode pédagogique.

De plus, bien peu de travaux, à notre connaissance, s'intéressent aux pratiques d'évaluation et aux contenus de ces dernières d'une part, dans les prescriptions institutionnelles, et d'autre part chez les enseignants eux-mêmes. La question est d'importance avec l'introduction de cette nouvelle méthode d'enseignement-apprentissage fondé sur l'investigation scientifique. On peut penser en effet que si les évaluations, notamment certificatives, ne prennent pas en compte les nouveaux apprentissages en jeu, les pratiques enseignantes risquent fort de ne pas changer. Le risque de viser uniquement l'apprentissage de procédures au détriment des aspects conceptuels est donc important.

On voit que se dessinent à travers ses nouvelles prescriptions la question de leur mise en œuvre dans les classes par les enseignants, car il ne suffit pas de changer de curriculum pour que les pratiques de transmission-appropriation des connaissances soient modifiées, et la question des formations des enseignants à envisager pour les aider à s'approprier ses nouvelles méthodes et à modifier leurs enseignements.

La pratique pédagogique d'enseignement-apprentissage fondé sur l'investigation ne prétend pas résoudre à elle seule le problème de la désaffection pour les sciences et pour les études scientifiques mais elle peut y participer grandement au même titre que d'autres approches.

Par exemple, l'approche transversale des sciences comme le propose les nouveaux programmes du collège français à travers les thèmes de convergence (thèmes pour lesquels les enseignants de plusieurs disciplines doivent travailler ensemble à la conception de projets de séquences de classe) ou encore l'enseignement intégré de science et de technologie mis en œuvre dans certains curricula.

Il faut aussi ne pas oublier que l'entrée par l'organisation sociale institutionnelle, telle qu'elle est évoquée dans les recherches actuelles, amène à se priver d'un autre regard sur d'autres organisations possibles. Il ne faudrait donc pas limiter les champs de recherche en didactique des sciences aux seules prescriptions institutionnelles et envisager d'autres possibles concernant notamment la question de la désaffection pour les sciences et pour les études scientifiques.

Il est temps maintenant de dresser un bilan et de conclure cette note de synthèse en présentant les perspectives de recherches à venir.

9 Conclusion - Perspectives

La question des apports de la recherche en didactique des sciences dans la réflexion sur la rénovation de l'enseignement des sciences physiques dans l'enseignement secondaire nous a conduit à examiner quelques cadres théoriques et certains résultats des travaux obtenus dans ce champ de recherche. Mais cette question est aussi à resituer dans le débat sur les liens possibles entre la recherche en éducation scientifique et d'une part, les besoins de l'institution et, d'autre part, les attentes des acteurs. Depuis quelques années une lente diffusion auprès des décideurs et des praticiens a effectivement lieu. Mais le phénomène de désaffection pour les études scientifiques interroge à nouveau le rôle de ces recherches et ouvre un certain nombre de perspectives quant à la suite à donner aux travaux présentés dans ce manuscrit.

9.1 Contexte institutionnel

Depuis quelques années, un important débat de société a lieu à propos de l'enseignement des sciences et de la technologie. Le développement de ces disciplines dans l'enseignement général et/ou technique est un élément essentiel pour le développement d'une culture scientifique et technologique largement partagée. Au-delà de la portée d'éducation du citoyen, un tel développement constitue un enjeu décisif afin de développer l'accès aux études scientifiques et technologiques qui connaissent une désaffection importante depuis quelques années dans de nombreux pays développés. Les professions scientifiques et technologiques séduisent moins et ce type de carrières apparaît moins attractif. Une sous-représentation des femmes dans les filières universitaires scientifiques et technologiques et dans les carrières scientifiques est constatée dans tous ces pays. Mais les problèmes ne sont pas partout les mêmes. La situation française, par exemple, montre que ce phénomène touche essentiellement certaines disciplines (physique et chimie en particulier) au niveau du premier cycle universitaire. Les bacheliers scientifiques privilégient en effet des études organisées, principalement dans les filières professionnalisantes.

Cette baisse préoccupante risquerait, d'une part de mettre en danger le renouvellement des cadres scientifiques et techniques et, d'autre part de creuser le fossé entre le grand public et les experts. On parle alors de la désaffection des sciences ou de la désaffection pour les études scientifiques par les lycéens et surtout les étudiants. De nombreux rapports et plans d'actions institutionnels visant à lutter contre le phénomène de désaffection pour les études scientifiques et à améliorer l'enseignement des sciences et de la technologie dans la scolarité obligatoire ont été publiés au niveau international et en France. Les objectifs de cet enseignement apparaissent ainsi multiples : proposer les bases d'une culture scientifique et technique à tous les élèves ; augmenter l'intérêt pour les sciences et les études scientifiques et technologiques ainsi que pour les carrières scientifiques. Ces recommandations ou ces injonctions s'appuient le plus souvent sur des standards de formation visant des compétences de base⁹⁸. Certaines concernent l'attractivité des sciences, d'autres abordent l'attractivité des études scientifiques dans les différents niveaux du système éducatif. Les propositions avancées dépendent directement des pouvoirs publics et/ou de la société (conditions externes) alors que d'autres dépendent du système éducatif (conditions internes) et quelques unes apparaissent en interaction avec ces deux milieux.

Mais la recherche en éducation a elle aussi étudié la question et la communauté scientifique internationale, face à ces constatations, réagit de façon différente surtout aux niveaux « internes ». Les raisons avancées de cette désaffection sont multifactorielles (idéologiques, socio-économiques, socio-démographiques, structurelles et pédagogiques). Les recherches

⁹⁸ Cette dernière expression peut revêtir des significations différentes suivant les systèmes éducatifs et s'appuyer sur des références contradictoires (sciences humaines et management).

en didactique des sciences sont particulièrement interrogées par certains de ces facteurs notamment les facteurs idéologiques et pédagogiques. Au même titre que d'autres disciplines (sociologie de l'éducation, philosophie de l'éducation, psychologie, etc.) la didactique des sciences peut apporter un éclairage sur les recommandations formulées par les différentes institutions notamment en termes de faisabilité ou des effets possibles de certaines mesures préconisées, en particulier les recommandations portant sur les contenus d'enseignement et sur les méthodes d'enseignement. Plusieurs directions envisagées semblent questionner particulièrement ce champ de recherches : une refondation partielle des disciplines scolaires et une réforme des curricula (enseignement intégré de science ou les éducations à – citoyenneté, santé, environnement, développement durable, etc.), une modification des méthodes d'enseignement (par exemple la démarche d'investigation), le recours aux TICE. Mais ces orientations supposent une réflexion épistémologique et didactique sur les sciences et sur les enjeux de cet enseignement.

Par exemple, en France, les programmes scolaires publiés récemment pour le primaire préconisent un « retour aux fondamentaux » interrogeant la place de l'enseignement des sciences dans le triptyque « lire, écrire, compter ». Pour ce qui concerne le secondaire inférieur, les instructions officielles mettent l'accent sur l'enseignement scientifique et technologique par la démarche d'investigation et sur la mise en relation des savoirs disciplinaires à travers les thèmes de convergence (thèmes pour lesquels les enseignants de plusieurs disciplines doivent travailler ensemble à la conception de projets de séquences de classe). De plus, l'introduction du socle commun de connaissances et de compétences amène à repenser les objectifs d'apprentissage et les procédures d'évaluation. Ces orientations demanderaient une réflexion didactique et épistémologique sur les sciences et sur les pratiques d'enseignement. De plus, les programmes scolaires de sciences physiques du secondaire français ont longtemps ignoré les différents enjeux d'un enseignement de sciences en se centrant presque exclusivement sur l'apprentissage de contenus conceptuels. On pourrait donc penser que les aspects méthodologiques et culturels sont plutôt absents des préoccupations des enseignants ; ce qui risque de s'ériger en obstacles à la mise en œuvre des nouvelles orientations institutionnelles et notamment des démarches d'enseignement préconisées (démarche d'investigation) qui nécessitent une modification profonde des interactions didactiques. Les enjeux en termes de formation des maîtres sont donc importants.

Des recherches semblent donc nécessaires pour repérer les difficultés éventuelles rencontrées par les enseignants (et les élèves) pour mettre en œuvre cette nouvelle pratique d'enseignement-apprentissage par (et pour) l'investigation scientifique. Il s'agit de repérer, d'explicitier les décalages entre curriculum prescrit et curriculum réel en observant et en analysant l'activité en classe et notamment les interactions didactiques.

Au-delà de ces nouvelles prescriptions et de leur mise en œuvre, on voit que se dessinent la question des contenus d'enseignement et celle de leur transmission-appropriation et, en arrière plan, celle de la définition d'une culture scientifique et technologique et les enjeux de son acquisition.

9.2 Cadres théoriques et résultats obtenus

9.2.1 Transposition didactique élargie

Comme tout modèle scientifique, le concept de transposition didactique modélisant des phénomènes didactiques possède un puissant intérêt heuristique (Johsua, 1996) mais il rencontre des difficultés dans ses limites de validité. Ainsi en est-il de la place donnée à la transmission des valeurs et de la prise en compte des activités sociales à l'œuvre dans l'obtention et l'utilisation des savoirs.

Pour notre part, nous retenons que la transposition didactique concerne des savoirs de référence qui sont choisis comme contenus à enseigner tels qu'ils sont présentés dans les curricula, les contenus effectivement enseignés, les contenus tels qu'ils sont appris par les élèves et les contenus d'apprentissage tels qu'ils sont évalués par le système didactique ou à l'extérieur dans le système d'enseignement et dans la société en général. Dans le cas de l'enseignement scientifique, cela conduit à distinguer la physique (et la chimie) du physicien (du chimiste), la physique (la chimie) à enseigner, la physique (la chimie) enseignée et la physique (la chimie) apprise par les élèves et enfin la physique (la chimie) évaluée par les différents systèmes.

Mais nous partageons aussi l'inquiétude de certains auteurs pour qui le savoir scolaire, séparé des traces de son enracinement originel dans des pratiques et des rapports sociaux, contribuerait à donner une image mythique des savoirs savants. Cela pourrait expliquer le décalage entre les représentations des élèves et des enseignants dans l'enseignement des sciences donnant de celles-ci une vision « désincarnée ». Parmi les savoirs savants, les outils conceptuels et les outils méthodologiques sont transposés dans les programmes scolaires mais il manque les aspects sociaux de la pratique scientifique qui rendent vivant cette pratique.

Nous considérons que le savoir est une production culturelle et nous retenons avec Perrenoud (1994, 1998) que la transformation de la culture en curriculum formel puis en curriculum réel devrait être envisagée à travers une transposition didactique élargie, qu'il s'agisse de savoirs, de compétences, de pratiques et même de normes, de valeurs ou d'attitudes. Finalement, nous retenons que le concept de transposition didactique élargie permet de prendre en compte de multiples références en évitant les écueils de la dépersonnalisation et de la désynthétisation. Il permet ainsi d'interroger et de repenser les programmes scolaires et la formation des maîtres. Mais il faut garder à l'esprit que le système didactique repose sur une épistémologie des savoirs scolaires différente de l'épistémologie des savoirs de référence (Develay, 1995) et fonctionne donc dans un cadre épistémologique artificiel.

Mais alors, quels contenus spécifiques d'enseignement s'avèrent-ils pertinents dans le cas de l'enseignement des sciences physiques ? Quelles places réserver à l'expérience, aux relations entre expérience et théorie, à la modélisation, au problème scientifique ? Et qu'en est-il d'autres pratiques montrant le fonctionnement de la science en train de se faire : débat scientifique, argumentation, démarche d'investigation, etc. ?

9.2.2 Contenus d'enseignement

La question des « savoirs » qu'il conviendrait d'enseigner et donc de transposer pour permettre l'enseignement et l'apprentissage des sciences physiques en classe est l'objet de débats importants au sein de la noosphère et de la communauté des chercheurs en éducation scientifique. Concernant plus particulièrement l'enseignement des sciences physiques, la question de l'articulation entre les aspects expérimentaux et théoriques suppose des recherches sur les rôles possibles des activités expérimentales dans l'apprentissage des sciences. Cela passe aussi par la prise en compte des modèles et de leur appropriation par les élèves ainsi que par des activités de résolution de problèmes.

La question de la diversification des tâches scolaires dépend en fait de multiples facteurs : des enjeux de l'enseignement scientifique défini bien souvent par le curriculum prescrit (apprendre des résultats de la science, faire de la science ou apprendre sur les sciences), de l'épistémologie des sciences et des théories de l'apprentissage mais aussi du curriculum caché. La transposition didactique élargie constitue, à cet égard, un cadre théorique intéressant, semble-t-il, pour étudier cette question.

En ce qui nous concerne, il nous semble que l'apprentissage des sciences physiques devrait comporter trois dimensions principales : apprendre des sciences physiques, apprendre sur

les sciences physiques et faire des sciences physiques. En effet, cet apprentissage consiste à s'approprier des savoirs (faits, concepts, lois, théories, etc.) mais aussi à étudier les manières dont la science fonctionne (méthodes, procédures conduisant aux connaissances scientifiques) sans oublier les aspects culturels (relation science et société ; histoire des sciences ; etc.). L'enseignement des sciences, qu'il vise une meilleure compréhension des sciences par le citoyen ou encore la formation des scientifiques (ingénieurs, chercheurs) devrait s'appuyer sur ces trois dimensions. Il reste cependant à envisager des organisations permettant une progressivité dans les apprentissages visés au niveau de l'école obligatoire comme dans les études scientifiques spécialisées du second degré.

A ce propos, les résultats de nos recherches montrent combien il est difficile pour les enseignants (débutants ou non) de mettre en œuvre des activités de modélisation et des activités de résolution de problème ouvert. Il semble que leur manque de connaissances épistémologiques et didactiques les empêche de prendre le recul théorique nécessaire pour maîtriser totalement ces dispositifs didactiques. Divers types de dispositifs reposant sur l'hypothèse socioconstructiviste (démarche d'investigation, construction de problème, activité de modélisation, activité de résolution de problème ouvert, etc.) existent dans le domaine de l'enseignement des sciences et participent à la construction du sens par les élèves. Les pistes sur ce thème ne sont pas épuisées comme le note d'ailleurs Méheut (2006) pour ce qui concerne les recherches sur les démarches d'investigation scientifique afin de clarifier les objectifs, proposer des cheminements pour les élèves dans la construction de ces compétences et disposer de situations d'apprentissage appropriées. Cependant, les travaux actuels trouvent principalement leur fondement dans la psychologie. Et comme le souligne Fabre (2009), il y aurait un intérêt à prendre en compte les travaux épistémologiques sur la problématisation dans les recherches didactiques.

L'accent mis sur le développement d'une culture scientifique pour tous conduit certains curricula ou certaines recherches à s'intéresser à la pratique du débat scientifique ou socio-scientifique en classe et au développement de l'argumentation. Pour certains chercheurs, la visée est purement culturelle alors que pour d'autres, ces pratiques permettent des apprentissages conceptuels et épistémologiques. Certains évoquent alors l'éducation scientifique alors que d'autres parlent d'enseignement scientifique. On voit par là que la question des orientations curriculaires est centrale dans ce débat. Mais les réponses ne sont pas simples à apporter comme le montrent les débats (dogme de l'égalité scientifique, socle commun, etc.) qui ont traversé l'histoire de l'enseignement des sciences en France au XX^{ème} siècle. Il semblerait cependant qu'un choix explicite au niveau des finalités visées par un enseignement de sciences permettrait de trancher. Mais pour cela, encore faut-il avoir précisé ce que l'on entend par culture scientifique ou littéracie scientifique.

Mais la question des contenus d'enseignement est à étudier dans un cadre beaucoup plus général. En effet, depuis de nombreuses années, les curricula font l'objet d'interrogation de la part des décideurs politiques et de très nombreuses réformes ont vu le jour. Les tendances internationales actuelles sont centrées sur les notions de standard de formation, de compétence de base et de socle de connaissances (Meunier, 2005), amenant des réflexions sur la refondation des disciplines scolaires, voire des interrogations sur l'existence même de certaines d'entre elles (Gauthier, 2006). La notion de socle commun de connaissances et de compétences en œuvre en France (loi Fillon, 2005) pose, quant à elle, la question de la culture à enseigner (Paget, 2006) et celle de la définition des programmes scolaires (Raulin, 2006) ou des curricula (Rey, 2010). Cette approche a bien entendu des implications sur l'enseignement des sciences comme le montrent certaines études internationales (par exemple Eurydice, 2006). Par exemple, l'approche intégrée des sciences et de la technologie est envisagée ou mise en place dans plusieurs pays au niveau notamment de l'enseignement secondaire inférieur, ce qui n'est pas sans interroger la recherche sur les finalités de ce nouvel enseignement et sur la formation des maîtres (Hasni et al., 2006; Hasni & Lebeaume, 2008).

Concernant la situation française, il faut s'attendre à ce que l'introduction du socle commun

de connaissances et de compétences s'accompagne d'un décalage entre curriculum prescrit et curriculum réel. Une série de nouvelles questions est ainsi posée à la didactique des sciences face à ces importantes modifications et un large travail d'ingénierie didactique devra être développé pour aider les enseignants dans ces vastes changements.

9.2.3 Interactions didactiques

Tous les types de tâches envisagés précédemment amènent à repenser la place du professeur et des élèves dans les situations de classe mais en tenant compte des difficultés rencontrées par les partenaires de la relation didactique pour modifier les rôles respectifs.

Les recherches développées à propos des interactions didactiques à l'aide des concepts de tutelle et de médiation scolaire semblent prometteuses pour rendre compte des processus et des mécanismes favorisant les apprentissages des élèves en classe de sciences. L'adoption d'un triple point de vue : épistémologique (les connaissances se construisent, doivent être validées et partagées par la communauté à un moment donné) ; psychologique (théorie socioconstructiviste sur l'apprentissage) ; sur la communication (les significations sont construites au cours des interactions) amène à reconsidérer le rôle de l'enseignant. Dans la modélisation que nous proposons (cf. 4.1.3.), les élèves sont considérés comme des individus à part entière pouvant exprimer leurs idées alors que le professeur est le garant des savoirs constitués. Les interactions didactiques ont lieu entre élèves, ou entre des élèves et le professeur, à propos de savoir(s) au sens d'intermédiaire intellectuel entre le monde et l'homme. Elles doivent amener à partager les savoirs au sein de la « communauté classe ». Ces relations aux savoirs ont un caractère cognitif et social et elles dépendent de l'institution. Pour décrire les interactions didactiques, nous disposons de deux concepts différents mais complémentaires. La tutelle est centrée sur le guidage de l'action alors que la médiation renforce la construction des significations partagées, tout en permettant aux élèves de réaliser les tâches qui leur sont proposées. La distinction de ces deux modes interactifs caractérise plutôt des types de séquences didactiques que des styles pédagogiques. L'appropriation des connaissances par les élèves nécessite en effet ces deux modes d'interactivité et leur recours dépend des intentions didactiques des enseignants et des besoins des élèves.

Cependant, les résultats empiriques (notamment en conditions "normales" de classe ordinaire) sont encore en nombre insuffisant pour évaluer la portée de ce cadre théorique même si des travaux en éducation scientifique sont menés en France pour développer des outils visant à affiner le repérage de ces différents types d'interactions didactiques dans l'enseignement des sciences physiques (Morge, 2003b; Toczek & Morge, 2009; Saint Georges & Calmettes, 2003).

D'autres travaux concernant les interactions didactiques en classe de sciences physiques sont menés dans le cadre de la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensévy & Mercier, 2007). Certaines études (Malkoun & Tiberghien, 2008;) mettent l'accent sur les relations savoirs-interactions dans la perspective d'étudier les relations entre l'enseignement et l'évolution des acquisitions des élèves. D'autres travaux portent sur l'aspect temporel de la progression du savoir en classe de physique en analysant plus particulièrement les décisions chronogénétiques des enseignants (Badreddine & Buty, 2009). Ajoutons que dans le domaine de l'éducation technologique, la question de la répartition des rôles entre l'enseignant et les élèves est abordée à partir de la théorie de l'activité dans certains travaux. Ginestié (2008c) distingue ainsi deux rôles possibles pour l'enseignant (facilitateur ou frein dans le processus de construction de connaissances), cette distinction retrouvant en partie les principaux aspects des rôles de l'enseignant évoqués dans le cadre théorique « tutelle-médiation ».

En fait, ce type de recherche correspond à un domaine en expansion depuis quelques années. En effet, sous l'influence de l'évolution de différents domaines, notamment des

sciences du langage, les travaux des didacticiens des sciences s'intéressent aux interactions langagières dans l'étude des situations d'enseignement-apprentissage, Les didacticiens des sciences étudient ainsi l'élaboration des connaissances scientifiques au travers des activités langagières (entre pairs, entre enseignant et élèves), les interactions spécifiques des apprentissages scientifiques autour de l'argumentation et des activités expérimentales, retrouvant d'une certaine façon le « débat scientifique dans la classe » introduit par Johsua et Dupin (1989).

Mais les recherches sur les interactions langagières appartiennent elles-mêmes au courant interactionniste qui conduit à s'intéresser aux processus interactionnels en sciences de l'éducation (Filliettaz & Schubauer-Leoni, 2008). Dans un contexte éducatif, l'interaction est pensée comme relevant d'une organisation ternaire (interactant A, interactant B, objets de savoir) et plus seulement binaire engageant des participants (par exemple maître - élève). Dans ce type de contexte, en effet, l'enjeu éducatif repose souvent sur des objets de savoir sur lesquels portent les interactions et l'organisation ternaire permet alors d'exprimer le rapport qu'entretiennent les différents participants avec ces savoirs. Il semble que l'enseignant aurait été longtemps négligé dans les approches didactiques. En particulier, les études sur les interactions didactiques seraient peu nombreuses selon Filliettaz & Schubauer-Leoni (2008). De ce point de vue, il semble que nos propres travaux dans le cadre du modèle « tutelle et médiation » contribuent à ce champ de recherche. La modélisation des interactions didactiques que nous proposons (figure 6, p. 69) semble en effet tout à fait cohérente avec la conceptualisation envisagée par Filliettaz et Schubauer-Leoni.

D'un point de vue méthodologique, la construction de chroniques thématiques semble tout à fait pertinente pour analyser les activités langagières dans les situations de classe mais deux points mériteraient une réflexion complémentaire. En effet, cette technique d'organisation et de traitement des transcriptions ne permet d'accéder qu'aux événements situés à l'échelle de temps microscopique (épisode) et macroscopique (séance de classe). Cette dernière donne accès au temps didactique mais il manque une échelle de temps plus grande pour analyser les pratiques interactives de l'enseignant sur plusieurs semaines. Une solution semble envisageable avec le découpage thématique proposé par Tiberghien et al. (2007) dans le cadre théorique de l'action conjointe. Ces auteurs distinguent trois échelles de temps : l'échelle macroscopique de l'ordre de l'année ou du mois, l'échelle mésoscopique correspondant au temps didactique et l'échelle microscopique représentant le grain le plus fin d'analyse. Cependant, l'accent mis sur les productions verbales dans la construction de chroniques thématiques ne prend pas assez en compte les autres productions sémiotiques. Par exemple, la distinction des gestes communicationnels qui accompagnent, orientent et complètent les productions verbales des gestes praxiques directement liés à la réalisation de la tâche (Bronckart et al., 2004) pourrait apporter des éléments complémentaires dans les analyses menées jusqu'alors. En fait, la multiplicité des modes de communication à l'œuvre du côté de l'enseignant et des élèves (écriture, parole, images, gestes) amène alors certains auteurs à parler de multimodalité pour décrire cette approche visant à analyser l'enseignement et l'apprentissage en classe (Kress et al., 2001). On retrouve cette dimension multimodale dans des travaux de recherche récents menés en France (Badreddine & Buty, 2009; Bécu-Robinault & Lund, 2009 ;Givry, 2003; Tiberghien & Malkoun, 2007).

9.2.4 Transposition didactique élargie, savoirs professionnels et formation des maîtres en sciences physiques

Les deux études que nous avons menées en formation des enseignants (cf. 5.1 et 5.2) constituent en fait deux exemples de transposition des résultats de la recherche en didactique dans la formation des maîtres. Le cadre de la transposition didactique élargie permet en effet de les modéliser : du choix des savoirs de référence issus de la recherche par le formateur à la construction d'un module de formation en passant par le repérage et

l'analyse des « savoirs » enseignés par le formateur jusqu'aux « savoirs » appris par les professeurs stagiaires. De ce point de vue, notre travail de thèse donne des indications sur les transformations subies par les outils conceptuels issus des résultats des recherches didactiques quand ils sont repris en formation. Ces deux études s'insèrent également dans un cadre plus vaste. Les recherches en éducation développent en effet des travaux sur la pratique professionnelle des enseignants et notamment sur les pratiques en classe. Les approches peuvent être centrées sur un domaine particulier (psychologie, didactique, etc.) ou conduites au sein de réseaux pluridisciplinaires comme OPEN (Observatoire des Pratiques Enseignantes, Bacconnier, 2006) et passent souvent par une analyse des déterminants de la pratique enseignante qui s'avère complexe (Vinatier & Altet, 2008). Mais pour Lenoir et Vanhulle (2006), il s'agit de développer une théorie de la pratique enseignante confrontant la perspective descriptive et compréhensive du chercheur et la perspective applicationniste du formateur ou de l'enseignant.

Certains de ces travaux tentent de repérer des liens éventuels entre les pratiques effectives enseignantes (Venturini et al., 2002) et les effets sur les élèves en termes d'apprentissage ou de performances scolaires (Mercier & Buty, 2004; Morge et al., 2010).

Ces types de recherche offrent un intérêt scientifique et répondent à une certaine demande sociale d'efficacité de l'école. Mais ces travaux conduisent aussi à mettre l'accent sur la formation des enseignants (Paquay et al., 1998, 2008). Notre étude sur la formation initiale d'enseignants de physique-chimie s'insère ainsi dans un courant actuel s'appuyant sur l'élaboration de savoirs professionnels. Même si les cadres théoriques sont parfois différents, l'hypothèse selon laquelle la transformation des pratiques passe par l'objectivation des interactions éducatives par les enseignants est souvent reprise. Les effets de la formation sont analysés en comparant les préparations de séances de classe avant et après la formation et ils mettent le plus souvent en évidence des évolutions des idées des enseignants sur les sciences et sur les processus d'enseignement-apprentissage. Il semble aussi que l'implication des formés dans leur propre analyse des pratiques, comme nous l'avons mise en œuvre, soit parfois envisagée.

Ces recherches autour de l'apprentissage du métier d'enseignant abordent fréquemment la place de la recherche et des approches théoriques dans la formation, la dualité théorie-pratique étant bien souvent au centre de ces interrogations. Les différents types de savoirs en jeu pour exercer ce métier sont également questionnés (Altet, 2009; Morge, 2008, 2009).

Il nous semble que ces différentes entrées théoriques permettent d'approfondir l'idée de savoir pratique professionnel, introduite par Porlan, et que nous avons utilisée dans nos propres travaux. Mais la question essentielle, quel que soit le cadre théorique adopté, concerne la valorisation des résultats de ces recherches. On peut se demander en effet si les recherches contextualisées peuvent produire du générique sur la pratique enseignante en général (Vinatier & Altet, 2008). Ajoutons que la démarche de recherche et la démarche de formation obéissent à des logiques différentes : logique de production de savoirs (partant d'une problématique et exigeant notamment des méthodologies et une communication des résultats) pour la première, logique d'adaptation de ces savoirs à une situation professionnelle pour la seconde. Ces deux logiques peuvent être articulées et amener à faire de la recherche pour la formation, en partant par exemple de problèmes de praticiens.

De plus, au moment où se met en place en France la réforme dite de la mastérisation de la formation des maîtres, les apports de nos travaux peuvent indiquer des pistes à suivre pour mettre en place les nouvelles formations. On y retrouve en effet certaines orientations préconisées dans la synthèse des États généraux de la formation des enseignants organisés en 2009. Cette formation « *doit être une formation à un métier, articulant savoirs théoriques, savoirs académiques des disciplines et savoirs d'exercice du métier. Les savoirs théoriques doivent toujours être en lien avec la pratique, s'adaptant aux circonstances et aux niveaux d'enseignement, donnant des points de repères pour que le futur enseignant réfléchisse sur sa pratique, puisse changer et faire évoluer ses compétences* » (Feyfant, 2010, p. 4).

9.2.5 Désaffection pour les sciences et pour les études scientifiques

Les constats au niveau international montrent que les expressions « *désaffection pour les sciences* » ou « *crise mondiale des sciences* » sont plutôt à proscrire (Convert, 2005). L'expression « *désaffection pour les études scientifiques* » correspond mieux à une certaine réalité même si Convert (2005, 2006) et Harfi (2006) invitent là encore à la prudence puisqu'ils évoquent plutôt une désaffection générale pour les disciplines académiques traditionnelles.

Au niveau international, les constats à peu près consensuels partagés par les chercheurs et les rapports d'origine institutionnelle sont les suivants :

Situation internationale	Particularités de la situation française
<p>Les professions scientifiques et technologiques séduisent moins et ce type de carrière apparaît moins attractif</p> <p>Une diminution en valeur relative des effectifs d'étudiants en sciences et technologie, notamment en mathématiques et en sciences physiques</p> <p>Un désintérêt manifeste pour les sciences croissant avec l'âge des élèves</p> <p>Alors qu'elle n'a jamais réussi à proposer une éducation scientifique à tous les élèves, l'école n'arrive plus à fournir une voie d'accès aux sciences pour les futurs scientifiques</p> <p>Une sous-représentation des femmes dans les filières universitaires de sciences et technologie et dans les carrières scientifiques</p>	<p>La désaffection pour les études scientifiques dans l'enseignement secondaire n'est pas établie surtout si l'on prend en compte les effectifs des séries technologiques</p> <p>La désaffection pour les études scientifiques touche essentiellement certaines disciplines (physique et chimie en particulier) au niveau du premier cycle de sciences fondamentales de l'université.</p> <p>Les bacheliers scientifiques privilégient des études organisées principalement dans les filières sélectives et professionnalisantes.</p> <p>L'insertion professionnelle des scientifiques est très sensible à la conjoncture. Le cœur des métiers de l'emploi scientifique (recherche, enseignement) n'est plus accessible qu'au niveau Bac+5</p>

Tableau 8 : Désaffection pour les sciences et son enseignement : les constats

Les raisons avancées de cette désaffection dans les différents rapports sont multifactorielles (idéologiques, socio-économiques, socio-démographiques, structurelles et pédagogiques). Les recherches en didactique des sciences sont interrogées par certains de ces facteurs notamment les facteurs idéologiques, pédagogiques et didactiques qui peuvent être regroupées autour de quelques catégories :

Raisons	Situation internationale et française
<i>Facteurs idéologiques</i>	<p>Image dégradée de la science : un facteur controversé</p> <p>Image des scientifiques désuète, éloignée de la réalité</p> <p>Éloignement de l'enseignement scientifique des centres d'intérêt des jeunes (la question du sens)</p> <p>Culture adolescente en décalage par rapport aux systèmes de valeurs perçus à travers l'enseignement des sciences</p>
<i>Facteurs pédagogiques et didactiques</i>	<p>Image de la science véhiculée par l'enseignement scolaire peu enthousiasmante ou éloignée de la science qui se fait</p> <p>Buts de l'enseignement des sciences confondant pré-formation professionnelle pour futurs scientifiques et éducation scientifique pour tous les élèves</p> <p>Programmes d'enseignement et curricula inadaptés : la science est présentée de manière fragmentée, les contenus sont en décalage avec les thèmes scientifiques traités par les médias. L'enseignement est trop abstrait, rigide, déshumanisé, et il manque de liens avec les sciences humaines</p> <p>Enseignement trop cloisonné</p> <p>Démarches pédagogiques peu attrayantes, pratiques pédagogiques trop stéréotypées et trop académiques</p> <p>Méthodes d'évaluation peu adaptées</p>

Tableau 9 : Désaffection pour les sciences et son enseignement : les facteurs idéologiques, pédagogiques et didactiques

Même si certaines recherches actuelles étudient les recommandations pour lutter contre le phénomène de désaffection pour les études scientifiques, ces dernières sont surtout formulées par les rapports institutionnels. Certaines concernent l'attractivité des sciences, d'autres abordent l'attractivité des études scientifiques dans les différents niveaux du système éducatif. Les propositions avancées dépendent directement des pouvoirs publics et/ou de la société (conditions externes) alors que d'autres dépendent du système éducatif (conditions internes) et quelques unes apparaissent en interaction avec ces deux milieux. Certaines s'intéressent plus précisément à l'enseignement au primaire et au secondaire :

Enseignement primaire et secondaire	Situation internationale	Particularités de la situation française
<i>Organisation</i>	Introduire l'enseignement des mathématiques, des sciences et de la technologie dès le plus jeune âge en proposant un enseignement adapté	Réaménager l'organisation des filières scientifiques au lycée
<i>Curricula</i>	Rendre les programmes scolaires plus attrayants et actualiser les contenus en proposant plus de liens avec la vie quotidienne (ou au contraire revoir les contenus à la hausse pour certains auteurs) Adapter les contenus enseignés pour donner du temps à la pratique expérimentale Développer des curricula innovants et les évaluer Provoquer des ruptures avec les cloisonnements disciplinaires actuels : par exemple, enseignement de sciences intégrées au début du collège, interdisciplinarité.	Repenser les conceptions épistémologiques sur la nature de la science enseignée car elles influencent les pratiques enseignantes : conception historique et conception contemporaine. Par exemple, proposition de trois approches pédagogiques à introduire dans chaque niveau d'enseignement (primaire, secondaire, universitaire) : culture scientifique, discipline outil, discipline (cette dernière étant trop privilégiée par le système éducatif français)
<i>Culture scientifique</i>	Proposer une éducation scientifique (système explicatif du monde et fonctionnement de la science) à tous les élèves et pas seulement aux futurs scientifiques et ingénieurs Changer le rapport aux savoirs scientifiques Amener les élèves à acquérir une véritable culture scientifique pour que les choix d'orientation se fassent en connaissance de cause Développer la place des sciences dans une culture scientifique plus large (liens avec la vie quotidienne, ouverture sur le monde, interdisciplinarité).	
<i>Orientation, information</i>	Développer les partenariats école, université, laboratoires de recherche, entreprises et parents Informers les élèves à propos des carrières scientifiques mais aussi des carrières nécessitant des connaissances scientifiques	Repenser le processus d'orientation de la classe de 3 ^{ème} au niveau Bac +2 qui devrait redevenir une prérogative des enseignants pour certains rapports.

Tableau 10 : Désaffection pour les sciences et son enseignement : les recommandations pour les enseignements primaire et secondaire

D'autres propositions concernent plus spécifiquement les enseignants :

Les enseignants	Situation internationale	Particularités de la situation française

<i>Formation</i>	Mieux former (notamment les enseignants du primaire) à l'enseignement des sciences en développant des ressources didactiques S'assurer de la qualité des enseignants de sciences en faisant des efforts sur le recrutement et la formation initiale et en développant la formation continue Former les universitaires à la fonction enseignante	Structurer le recrutement des enseignants et des chercheurs notamment par des pré-recrutements ; Proposer des stages en laboratoires de recherche ou industriel aux enseignants du secondaire ; former les enseignants à l'histoire des idées scientifiques et aux approches pluridisciplinaires.
<i>Pratiques d'enseignement</i>	Modifier les pratiques d'enseignement trop stéréotypées. Revoir les méthodes pédagogiques et proposer des méthodes actives facilitant une réelle appropriation des savoirs ou des méthodes de type «Hands' on » Adapter les méthodes pédagogiques et les procédures d'évaluation aux spécificités de certains publics d'élèves (genre, ethnicité, etc.) Revoir les procédures d'évaluation des élèves en prenant en compte les aspects théoriques et pratiques. Transformer les modes d'évaluation des élèves en distinguant mieux formation et sélection	
<i>Accompagnement</i>	Accompagner les enseignants impliqués dans ces actions innovantes et évaluer ces dernières Organiser la diffusion des bonnes pratiques (observatoire européen).	

Tableau 11 : Désaffectation pour les sciences et son enseignement : les recommandations concernant les enseignants

Mais que faut-il penser des toutes ces recommandations ? Sont-elles toutes pertinentes ?

Au même titre que d'autres disciplines (sociologie de l'éducation, philosophie de l'éducation, psychologie, etc.) la didactique des sciences peut apporter un éclairage sur les propositions formulées par les différentes institutions notamment en termes de faisabilité ou sur des effets possibles de certaines mesures préconisées. En particulier, les recommandations portant sur l'accès à la culture scientifique, technique et industrielle, sur les contenus d'enseignement, sur les méthodes d'enseignement et la formation des enseignants font partie des thèmes de réflexion des recherches actuelles en éducation scientifique et technologique. Ces recherches permettraient probablement de lever les obstacles rencontrés par les systèmes éducatifs pour mettre en œuvre certaines préconisations comme la résistance des enseignants à adopter des modèles didactiques d'origine socioconstructivistes.

Il reste cependant à convaincre les décideurs de l'intérêt de ces travaux. En effet, la recherche en éducation n'est pas, en général, considérée comme pertinente par ceux-ci. Pourtant, les recherches en didactique des sciences peuvent participer à la réflexion sur les modifications à apporter à l'enseignement des sciences. Plusieurs directions envisagées semblent questionner particulièrement ce champ de recherches :

- Vers des pratiques interdisciplinaires pour désenclaver les disciplines : travaux personnels encadrés, itinéraires de découverte, projet pluridisciplinaire à caractère professionnel, thème de convergence ;
- Vers une refondation partielle des disciplines scolaires : enseignement intégré de science et technologie, éducation à – la citoyenneté, à l'environnement et au développement durable, etc. ;
- Vers une modification des méthodes d'enseignement : méthodes actives, comportant une réflexion sur le statut de l'expérience (par exemple : démarche d'investigation) ;
- Repenser la place des technologies de l'information et de la communication.

Mais ces orientations supposent une réflexion historique, épistémologique et didactique sur les sciences et sur les enjeux de cet enseignement.

9.2.6 Image des sciences et des études scientifiques

Dans le contexte général de désaffection pour les sciences et leur enseignement, il semble important de préciser le point de vue des acteurs (enseignants et élèves) sur les motivations et les attitudes envers ces disciplines scolaires.

Les travaux de recherche sur la motivation pour les sciences montrent le rôle important de l'environnement scolaire et notamment de la manière d'enseigner. Venturini (2006) note que pour favoriser la motivation à apprendre des sciences en situation scolaire, il convient de prendre en compte plusieurs éléments : la question du sens, la responsabilisation de l'élève, les aides à la réussite, l'évaluation sans dévalorisation, la collaboration entre pairs, les émotions positives en classe.

Les études menées sur les attitudes envers les sciences gagneraient à être distinguées des travaux de recherche sur les attitudes envers les sciences à l'école puisque les liens entre les deux ne semblent pas toujours évidents. D'ailleurs, comme le montre l'étude PISA 2006, les élèves peuvent accorder beaucoup d'importance aux sciences en général, sans pour autant faire de liens avec leur vie et leur comportement. De plus, les liens entre attitudes et comportement ne semblent pas toujours corrélés. Cependant, si l'on retient le bilan établi par Venturini, plusieurs facteurs intervenant dans les attitudes envers l'enseignement des sciences semblent essentiels : la nature du curriculum, la nature de la discipline, l'influence du niveau d'étude, l'influence du genre, l'influence de l'environnement scolaire, l'influence de l'environnement social et la relation entre attitudes et réussites.

Par ailleurs, il conviendrait probablement de distinguer plusieurs dimensions : l'image de la science et de ses relations avec la technologie et la société, l'image de la nature de la science et de sa construction, l'image de ses acteurs, l'image de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences. Ainsi, les sciences dans la société sont plutôt perçues de façon positive mais la représentation sociale des scientifiques et des métiers scientifiques mériterait d'être questionnée ou approfondie surtout si le lien avec le choix des études et des carrières scientifiques était avéré. La représentation de la physique et de sa fonction sociale est construite uniquement chez les lycéens les plus mobilisés dans cette discipline. Il semble que la situation soit très voisine en chimie.

Les recherches menées dans le cadre du rapport aux savoirs de la physique mettent en évidence une composante utilitaire importante. La physique ne sert qu'à l'école, pour l'orientation scolaire et pour le futur métier mais la dimension culturelle n'est pas perçue par la majorité des élèves. Cependant, cela ne gêne pas l'institution « enseignement de la physique » puisqu'elle ne prend pas en compte actuellement ce type de connaissances dans les évaluations comme nous l'avons déjà signalé.

Les résultats des enquêtes institutionnelles françaises récentes ne retrouvent pas totalement ceux indiqués par Venturini (2006) ou Osborne et al. (2003). On y découvre de plus que les enseignants sont conscients de certaines difficultés actuelles de l'enseignement des sciences physiques. Ils identifient par exemple la baisse d'intérêt des élèves au collège et les différences existant entre la science réelle (vue comme un processus de création de savoirs) et la science enseignée. Mais les décalages entre leurs pratiques ressenties et leurs pratiques réelles montrent qu'ils sont un peu désarmés face à ce constat.

Ces différentes approches de l'image des sciences et de son enseignement sont plus complémentaires que concurrentes et nombre de résultats sont voisins ou identiques. Une comparaison avec les facteurs dont dépend le phénomène de désaffection pour les études scientifiques permet de retrouver une grande partie des facteurs idéologiques, pédagogiques et didactiques étudiés précédemment (cf. 6.3.2) :

- Image dégradée de la science ;
- Image des scientifiques désuète, éloignée de la réalité ;
- Éloignement de l'enseignement scientifique des centres d'intérêt des jeunes (la question du sens) ;
- Culture adolescente en décalage par rapport aux systèmes de valeurs perçus à travers l'enseignement des sciences.
- Image de la science véhiculée par l'enseignement scolaire peu enthousiasmante ou éloignée de la science qui se fait ;
- Programmes d'enseignement et curricula inadaptés ;
- Démarches pédagogiques peu attrayantes, pratiques pédagogiques trop stéréotypées et trop académiques.

Certains d'entre eux comme l'importance de l'environnement scolaire (prise en compte des phénomènes tirés du quotidien, prise en compte des interrogations des élèves, recours à des activités expérimentales, rôle privilégié de l'enseignant) et la nature du curriculum font partie du champ des recherches de la didactique des sciences. Le premier élément renvoie à une série de travaux sur les interactions didactiques en classe, sur la place et le rôle des activités expérimentales et du problème scientifique dans l'apprentissage des sciences physiques. Le second élément fait appel aux travaux sur la sociologie du curriculum et au cadre théorique de la transposition didactique en renvoyant à nouveau au rôle primordial de l'enseignant puisque c'est lui qui construit des tâches et mène la classe à partir du curriculum prescrit, des contenus et des enjeux perçus.

9.2.7 Enseignement et apprentissage des sciences physiques fondé sur l'investigation

Les recherches sur le rôle des activités expérimentales et les évolutions des finalités de l'enseignement des sciences ont conduit à des transformations importantes des curricula. De formes souvent stéréotypées et dirigées, les tâches scolaires recourant à l'expérience sont peu à peu remplacées par des tâches laissant beaucoup plus d'autonomie aux élèves et leur proposant des activités cognitives de plus haut niveau. La démarche d'investigation scientifique en est un exemple que nous avons choisi d'étudier car cette démarche d'enseignement-apprentissage semble, à cet égard, un prolongement de nos travaux sur les activités de résolution de problème ouvert de physique. Mais l'introduction d'une telle approche pédagogique conduit à de nombreuses modifications dans les activités en classe et transforme la relation didactique. De plus, à la fois objet d'enseignement et moyen d'enseignement, la démarche d'investigation laisse apparaître des confusions dans les prescriptions ou dans les pratiques et nécessite des précautions et des clarifications dans les recherches en didactique.

De ce point de vue, la plupart des études réalisées au niveau international sont plutôt de nature empirique. Et même si elles ont produit de nombreux résultats s'appuyant sur un contrôle méthodologique important, elles semblent manquer d'un cadrage théorique ou de finalisation conceptuelle. Par contre, le cadre théorique de la transposition didactique élargie, tel que nous l'avons présenté dans le chapitre deux, permet de clarifier le positionnement didactique et d'orienter ainsi les recherches. Il s'agit en effet de distinguer la physique du physicien, la physique à enseigner, la physique enseignée et la physique apprise par les élèves. La démarche d'investigation appartient aux méthodes scientifiques mais elle ne doit pas être confondue avec la démarche d'investigation en classe. Quatre niveaux en rapport avec l'investigation peuvent être distingués :

- Ce que font les scientifiques : l'investigation scientifique ;
- Ce qu'en disent les curricula ;
- Ce que font les enseignants ;

- Ce qu'apprennent les élèves et comment ils l'apprennent.

Ces quatre niveaux permettent de définir l'enseignement et l'apprentissage scientifique fondé sur l'investigation et d'analyser en particulier la transposition entre chaque niveau.

La première transposition nécessite tout d'abord une importante clarification des positions épistémologiques sur la notion de démarche scientifique (place de l'expérience et de la théorie, définition et rôle de l'hypothèse, etc.) car le risque de donner une image restreinte de la pratique scientifique est grand. En effet, les positions épistémologiques pilotent en partie les types de tâche scolaire préconisée ou prescrite et la variété des démarches à l'œuvre dans l'activité scientifique risque de ne pas être prise en compte dans les curricula si les orientations des prescripteurs s'avèrent trop restreintes comme le montre l'étude de Mathé et al. (2008). De ce point de vue, notre travail de caractérisation d'une séquence d'enseignement par investigation (Morge & Boilevin, 2007) montre que les tâches proposées aux élèves peuvent être plus riches et plus variées que celles envisagées par les instructions officielles françaises concernant le second degré en allant au-delà de la démarche scientifique de type hypothético-déductive. Il s'agit donc de concevoir la pratique d'investigation en classe suffisamment ouverte pour éviter cet écueil. Pour notre part, nous considérons qu'un apprentissage fondé sur l'investigation scientifique en classe suppose que les élèves soient engagés dans :

- Des contenus scientifiques ;
- Des tâches ou des problèmes à résoudre requérant des activités cognitives et expérimentales ;
- Des discussions argumentatives et des communications entre pairs ;
- Une structuration des connaissances (méta-cognition).

Suivant le degré d'ouverture des tâches proposées aux élèves (jouant ainsi sur l'autonomie des élèves) et le niveau d'intervention de l'enseignant, on peut alors distinguer des investigations plus ou moins complètes.

Si le passage de la démarche scientifique à la démarche d'investigation telle qu'elle devrait être enseignée dépend essentiellement de l'institution, d'autres membres de la noosphère interviennent dans ce processus. Concernant la situation française, on manque ici d'informations complémentaires sur les conceptions de la démarche scientifique chez les inspecteurs, les auteurs de manuels. Tous ces intermédiaires dans le processus de transposition didactique ont une influence importante et mériteraient d'être étudiés pour repérer d'éventuels décalages entre les différentes représentations de la démarche d'investigation.

Ajoutons que les curricula abordent aussi l'intérêt du recours à une telle pratique d'enseignement et d'apprentissage des sciences. L'enjeu principal évoqué est d'améliorer la compréhension des concepts scientifiques ainsi que la compréhension du fonctionnement de la science. A terme, cela doit encourager les élèves à poursuivre des études scientifiques. On retrouve ici les questions évoquées plus haut (9.2.2) concernant les contenus d'enseignement et la finalité d'un enseignement ou d'une éducation scientifique.

D'autres travaux se sont intéressés à la deuxième étape de la transposition didactique et montrent le rôle des conceptions des enseignants sur la nature et sur le fonctionnement de la science. Mais la situation est d'autant plus complexe que les conceptions épistémologiques sur la science et son enseignement se mêlent à celles concernant la manière d'enseigner et la manière d'apprendre. De ce point de vue, la recherche que nous avons menée (Morge & Boilevin, 2007) montre que la démarche d'enseignement par investigation doit prendre en considération les élèves en les amenant à s'approprier les tâches proposées par leur professeur mais aussi en les faisant participer à la validation des productions individuelles et collectives. Les résultats visant l'objectivation des pratiques enseignantes dans ce type d'activité en classe sont encore peu nombreux (Crawford, 2000; Furtak, 2006 ; Tang et al., 2010). Cependant, les résultats des travaux sur les interactions

didactiques que nous avons menés (Boilevin, 2000; Brandt-Pomares & Boilevin, 2008) peuvent servir d'appui pour entreprendre des études sur ce thème. En effet, la place des interactions verbales dans les différentes phases de la démarche d'investigation en classe est essentielle puisque l'enjeu est de laisser les élèves s'exprimer et argumenter au même titre que l'enseignant. Mais cela nécessite de transformer les pratiques d'enseignement. Et certaines études récentes mettent en évidence les difficultés rencontrées par les enseignants pour opérationnaliser ces nouvelles pratiques (Calmettes, 2007, 2008, 2009; Gyllenpalm et al., 2010; Vlassis et al., 2002).

La troisième étape de la transposition didactique est prise en compte dans plusieurs études récentes. Elles montrent tout le bénéfice que les élèves peuvent tirer d'un apprentissage des sciences par investigation, d'une part en termes d'acquisition de connaissances scientifiques et, d'autre part, en termes d'attitudes plus positives envers la science. Mais les résultats des travaux montrent que les élèves ont besoin de temps pour s'adapter à ce nouveau type de situation. Cependant, les effets à longs termes semblent plutôt bénéfiques quant à l'intérêt pour les sciences (Gibson & Chase, 2002). De plus, le type de tâches proposées aux élèves est un facteur conditionnant le type d'apprentissage (Minner et al., 2009; Rudolph, 2005). A ce propos, la perspective envisagée par Windschitl (2003) de développer progressivement les compétences dans l'investigation scientifique sur plusieurs années en s'appuyant sur des tâches plus ou moins ouvertes semble tout à fait intéressante.

Ajoutons que le rôle des évaluations utilisées par les enseignants est peu pris en compte dans les recherches actuelles (Hume & Coll, 2008) alors que cet aspect semble crucial puisqu'il conditionne le plus souvent les apprentissages visés par les enseignants.

On voit que se dessinent à travers ses nouvelles prescriptions la question de leur mise en œuvre dans les classes par les enseignants, car il ne suffit pas de changer de curriculum pour que les pratiques de transmission-appropriation des connaissances soient modifiées, et la question des formations des enseignants à envisager pour les aider à s'approprier ses nouvelles méthodes et à modifier leurs enseignements.

9.3 Perspectives de recherches

Dans ce paragraphe, nous envisageons les perspectives de recherches à développer à plus ou moins long terme et nous présentons les travaux déjà entrepris dans nos nouvelles problématiques.

9.3.1 Orientations générales

9.3.1.1 Orientations méthodologiques et théoriques

Le concept de transposition didactique élargie fournit un cadre pour les recherches sur l'éducation scientifique, en interrogeant notamment les relations entre pôle épistémologique de référence et pôle scolaire. De plus, le cadre théorique « tutelle et médiation » permet de caractériser les interactions didactiques en classe de sciences.

Cependant, il semble que l'articulation tâche-activité constitue un cadre d'analyse particulièrement adapté pour regarder le fonctionnement des situations didactiques comme le montrent les travaux de l'équipe Gestepro de l'UMR ADEF auxquels nous participons (Boilevin & Brandt-Pomares, 2010; Boilevin et al., 2010; Brandt-Pomares & Boilevin, 2007, 2008, 2009). Dans ce cadre emprunté à la psychologie du travail, l'activité relève de la mise en œuvre de la tâche par le sujet ; ainsi, qu'il s'agisse des enseignants ou des élèves, la mise en tension de la tâche prévue et de la tâche effectivement réalisée permet bien des analyses et notamment celle de l'efficacité des situations d'enseignement. Par exemple, la tâche confiée à l'enseignant est significative du processus de transposition didactique en donnant à voir trois logiques concurrentes : la logique de la discipline, la logique de

l'institution scolaire et la logique de l'enseignant. L'analyse de la tâche doit permettre de caractériser cette concurrence et permettre de repérer les systèmes de valeurs, les modèles, les théories et les savoirs propres à chaque enseignant. L'analyse de l'activité de l'élève donne accès, quant à elle, à ses processus d'apprentissage à travers sa lecture et sa compréhension de la tâche et l'orientation de ses actions. On peut ainsi repérer les difficultés qu'il rencontre et identifier ce qui relève de difficultés inhérentes au contexte d'apprentissage (habillage et formulation de la tâche, organisation des conditions de l'étude, etc.) et ce qui relève d'obstacles à l'apprentissage (conceptions, évolution des représentations, etc.). Le croisement des deux analyses, tâche et activité, permet alors de caractériser les interactions qui existent entre trois logiques concurrentes mais qui peuvent également se révéler concurrentes : la logique de la discipline, la logique de l'enseignant et la logique de l'élève.

9.3.1.2 Processus de transmission-appropriation des savoirs scientifiques

Nous avons développé l'idée que l'apprentissage des sciences physiques devrait comporter trois dimensions principales : apprendre des sciences physiques, apprendre sur les sciences physiques, faire des sciences physiques. L'enseignement des sciences, qu'il vise une meilleure compréhension des sciences par le citoyen ou encore la formation des scientifiques (ingénieurs, chercheurs) devrait s'appuyer sur ces trois dimensions. L'enseignement-apprentissage fondé sur l'investigation scientifique constitue, de ce fait, une méthode pédagogique adéquate puisqu'elle permet d'aborder ces trois éléments à la fois.

La transmission de savoirs relève en partie du processus de transposition didactique. Mais l'organisation des situations scolaires implique des conditions d'études, notamment lorsqu'elles s'appuient sur un déploiement de matériels comme en sciences, influençant l'appropriation de savoirs par les élèves. L'évolution de l'enseignement des sciences physiques vers une éducation scientifique conduit alors à analyser des organisations telles que la démarche d'investigation du point de vue de leur efficacité en termes d'apprentissage pour les élèves.

Cependant, ce travail nécessite d'abord une clarification des positions épistémologiques pour définir l'objet d'enseignement, surtout si un des objectifs visés dans ce genre de pratique est d'enseigner la nature de la science. Il s'agit ensuite de clarifier les objectifs assignés à cette démarche en classe en précisant quels sont les apprentissages visés. Mais comme les prescriptions institutionnelles orientent fortement les contenus à enseigner et la manière de l'enseigner, les risques de dérive sont importants car la structuration des activités des élèves peut prendre le pas sur une structuration des apprentissages et donc sur une structuration des connaissances (Ginestier, 2008c). Les recherches devraient ainsi s'intéresser particulièrement aux pratiques interactives à l'œuvre dans ce type de méthode pédagogique. De plus, bien peu de travaux, à notre connaissance, s'intéressent aux pratiques d'évaluation et aux contenus de ces dernières d'une part, dans les prescriptions institutionnelles, et d'autre part chez les enseignants eux-mêmes. La question est d'importance avec l'introduction de cette nouvelle méthode d'enseignement-apprentissage par investigation scientifique. On peut penser en effet que si les évaluations, notamment certificatives, ne prennent pas en compte les nouveaux apprentissages en jeu, les pratiques enseignantes risquent fort de ne pas changer. Le risque de viser uniquement l'apprentissage de procédures au détriment des aspects conceptuels est donc important.

9.3.1.3 Organisations scolaires

La pratique pédagogique d'enseignement-apprentissage fondée sur l'investigation ne prétend pas résoudre à elle seule le problème de la désaffection pour les sciences et pour les études scientifiques mais elle peut y participer grandement au même titre que d'autres approches. C'est le cas par exemple de l'approche transversale des sciences, comme le propose les nouveaux programmes du collège français à travers les thèmes de convergence, ou encore l'enseignement intégré de science et de technologie expérimenté

actuellement en France. De plus, la mise en œuvre du socle commun de connaissances et de compétences devrait inciter les enseignants à recourir à des pratiques pluridisciplinaires.

Le récent rapport Eurydice (2006) envisage, de son côté, d'autres approches. Ainsi, la dimension contextuelle à l'enseignement des sciences est-elle intégrée pratiquement dans tous les programmes scolaires (primaire et secondaire) mais les questions scientifiques et contemporaines de société sont plus couvertes que l'histoire des sciences. Peut-être est-ce lié aux programmes de formation des enseignants qui se concentrent moins sur l'histoire des sciences ? « *Autant qu'apprendre à engager une discussion scientifique, les élèves sont supposés savoir comment présenter et communiquer les méthodes et les résultats de leur apprentissage scientifique – cette compétence apparaît comme un élément clé des programmes scolaires scientifiques dans toute l'Europe. Partout, on insiste sur le fait qu'il faut encourager les élèves à pouvoir s'exprimer clairement et à comprendre leur travail dans un contexte élargi... Faciliter les discussions et aborder des questions plus larges liées au contexte nécessitent que les enseignants soient en mesure de gérer des situations d'apprentissage interactives et dynamiques* » (p. 79). D'après les programmes de formation des enseignants, « *le choix de contextes d'apprentissage signifiants fait très largement partie de leur formation professionnelle* » et les futurs enseignants « *sont tenus de s'informer régulièrement des développements scientifiques et de se tenir à jour* » (p. 78).

Nous avons vu que l'enseignement scientifique est soumis à une crise importante et que les réponses institutionnelles apportées semblent s'orienter de plus en plus vers une éducation scientifique même si les références à des savoirs académiques ne sont pas abandonnées. C'est alors toute l'institution scolaire qui est interrogée, qu'il s'agisse des disciplines scolaires ou des organisations curriculaires.

Au-delà de ces nouvelles prescriptions et de leur mise en œuvre, on voit que se dessinent la question des contenus d'enseignement et celle de leur transmission-appropriation et, en arrière plan, celle de la définition d'une culture scientifique et technologique et les enjeux de son acquisition. Un vaste champ de recherches s'ouvre donc en didactique des sciences concernant ces organisations sociales institutionnelles. Mais il ne faudrait pas limiter le champ de recherche en didactique des sciences à ces seules prescriptions institutionnelles pour ne pas se priver d'un autre regard sur d'autres organisations possibles concernant notamment la question de la désaffection pour les sciences et pour les études scientifiques.

9.3.1.4 Formation des enseignants

Une question importante, liée à celle de l'enseignement-apprentissage fondé sur l'investigation, est celle du développement d'un raisonnement scientifique des enseignants eux-mêmes. Les liens entre les connaissances et les compétences scientifiques des enseignants, les façons dont ils enseignent les sciences, ainsi que les conséquences pour les élèves, sont établis dans plusieurs études (Méheut, 2006). Il a été démontré que le niveau de connaissances des élèves est lié aux compétences de leurs enseignants dans les disciplines concernées (Eurydice, 2006). Cela met en lumière l'importance de la formation des enseignants et, plus spécifiquement, de leur formation aux démarches scientifiques. Là encore, la didactique des sciences est sollicitée pour faire des propositions, notamment en ce qui concerne l'implication des formés dans leur propre analyse des pratiques comme nous l'avons déjà envisagée. Cela passe aussi par une meilleure compréhension du métier d'enseignant, particulièrement en ce qui concerne l'impact de ses propres conceptions (sur sa discipline, sur l'enseignement, sur les prescriptions, sur son métier, etc.), sur la manière qu'il a de construire et de mettre en œuvre les dispositifs pédagogiques qui vont organiser son enseignement.

9.3.2 Approfondissement et prolongement des travaux actuels

Les directions de recherche évoquées précédemment ne peuvent pas toutes être développées dans l'immédiat mais certains travaux sont déjà bien engagés.

9.3.2.1 Interactions didactiques en classe de sciences physiques

Au-delà des dispositifs didactiques utilisés, c'est le rapport aux sciences physiques développé par les élèves à travers ceux-ci qui semble primordial pour modifier leurs attitudes envers ces disciplines scolaires. Le rôle de l'enseignant et ses propres déterminants sont alors des facteurs essentiels à étudier. Il semble donc important de poursuivre les travaux entrepris concernant la caractérisation des interactions didactiques en classe de sciences à partir des descripteurs tutelle et médiation. Pour cela, il conviendrait d'élargir le recueil empirique et d'améliorer la méthodologie d'analyse pour prendre en compte les aspects non verbaux qui apparaissent importants dans les situations de classe s'appuyant sur des activités expérimentales et donc sur de nombreux gestes techniques.

9.3.2.2 Enseignement-apprentissage des sciences fondé sur l'investigation

Qu'apporte la démarche d'investigation aux élèves et aux enseignants ? Dans cette recherche, il s'agit d'identifier les représentations des enseignants sur les intentions didactiques des programmes concernant la démarche d'investigation, d'analyser les types de tâches proposés aux élèves et de décrire les mises en œuvre dans les classes de façon à objectiver les réussites et les difficultés rencontrées (d'ordre épistémologique, didactique, scientifique, pédagogique, matériel, etc.). Dans le prolongement de nos travaux pour identifier les caractéristiques de l'enseignement-apprentissage par une démarche d'investigation, l'étude menée actuellement vise à identifier comment les intentions didactiques des nouveaux programmes sont interprétées et quelle mise en œuvre a lieu effectivement dans les classes par les enseignants de sciences physiques au collège. Et dans la mesure où ces prescriptions concernent l'ensemble des disciplines scientifiques, les sciences de la vie et de la terre et la technologie sont incluses dans cette étude. Mais pour éviter les écueils liés à une posture prescriptive de la didactique, cette étude est menée avec des praticiens placés « *dans une posture d'acteurs à part entière, impliqués dans la conception et l'évaluation des outils ... Cette double référence (la recherche et la pratique enseignante) offre des garanties quant aux analyses et aux propositions qui sont faites* » (Weil-Barais & Goffard, 2005, p. 15). L'enjeu à terme est celui de la formation des maîtres sur ces nouvelles pratiques qui peuvent s'avérer très déstabilisantes à la fois pour les enseignants mais aussi pour leurs élèves suivant le type de modèle pédagogique et le type de contrat didactique proposés en classe. Il s'agit donc de produire des outils, conçus non pas comme des applications de la recherche en didactique mais « *des réalisations possibles de principes généraux dérivés de théories et de modèles de l'enseignement et de l'apprentissage* » (ibid.).

L'étude menée actuellement (Boilevin et al., 2010) s'attache à étudier l'influence du travail d'un groupe de chercheurs et d'enseignants de sciences physiques, de sciences de la vie et de la Terre et de technologie sur l'appropriation par ces derniers des prescriptions encourageant la mise en œuvre de la démarche d'investigation. Elle montre le double travail d'approfondissement et d'accompagnement nécessaire pour faire évoluer les pratiques. La démarche d'investigation est interrogée pour ce qu'elle est sur le plan scientifique mais surtout par rapport à la transposition didactique qu'elle induit. L'analyse des productions et des discussions au sein du groupe montre que les interrogations initiales des enseignants concernent les aspects pragmatiques d'un enseignement fondé sur l'investigation et qu'elles prennent un caractère plus conceptuel au cours du temps. Les enseignants retiennent le potentiel d'aide à l'apprentissage d'un tel enseignement au-delà d'une standardisation de la

démarche d'investigation, conférant ainsi au questionnement initial une place prépondérante de nature à favoriser l'appropriation par les élèves de la démarche et des savoirs associés.

La suite de la recherche prévoit d'étudier la mise en œuvre d'enseignements depuis leur conception par certains membres du groupe jusqu'à leur mise en œuvre en octroyant une importance particulière aux documents proposés aux élèves. L'accent sera aussi mis dans l'observation sur l'analyse des séquences pour étudier et définir les conditions de lancement de la démarche d'investigation et pour comprendre comment l'enseignant s'y prend pour faire en sorte que les élèves entrent dans la tâche et comment les élèves entrent effectivement dans celle-ci.

9.3.2.3 Enseignement intégré de science et de technologie

La question de l'interdisciplinarité à travers les transformations institutionnelles à l'œuvre en France concernant l'enseignement des sciences et de la technologie au niveau secondaire fait partie de nos nouvelles orientations de recherche. Nous nous intéressons particulièrement à l'expérimentation d'un enseignement intégré de science et technologie menée depuis quelques années.

Une première étude (Delsérieys, Boilevin, Brandt-Pomares, Givry & Martin, 2010) a permis d'étudier les notions d'interdisciplinarité, de transdisciplinarité et d'intégration pour penser l'enseignement au-delà du cadre strictement disciplinaire. La définition de différentes stratégies de décompartmentation disciplinaire a alors conduit à l'analyse du cadre institutionnel de l'expérimentation menée en France ainsi qu'à son appropriation par les enseignants participants. Certains travaux ont montré les bénéfices que les élèves peuvent tirer d'un enseignement intégré dans d'autres pays et concernant d'autres disciplines que les sciences et la technologie. Ces études relèvent les conditions strictes dans lesquelles doit se mettre en place l'enseignement intégré visé. En particulier, il ne faut pas perdre de vue les spécificités qui caractérisent chaque discipline afin de ne pas réduire les contenus enseignés en voulant à tout prix se centrer sur les processus d'interdisciplinarité. Il s'agit de s'assurer que les différentes dimensions *conceptuelle*, *organisationnelle*, *opérationnelle* et les *finalités éducatives* (Hasni et al., 2008) sont prises en compte et assimilées par les enseignants. Ce point soulève deux questions. La première relève de la formation des enseignants souhaitant démarrer un projet d'enseignement intégré. La seconde relève du travail d'analyse du chercheur pour dégager les observables permettant de caractériser cet enseignement intégré et de le mettre en perspective avec chaque discipline concernée.

L'orientation du travail de recherche se concentre sur les enseignants et leur rapport aux savoirs dans la mise en œuvre d'un enseignement intégré de science et technologie. Il s'agit d'identifier les approches conceptuelles partagées entre les trois enseignants disciplinaires des deux équipes enseignantes que nous suivons : sciences de la vie et de la Terre, technologie et sciences physiques. L'entrée par les objets de savoirs partagés par les disciplines engagera une analyse des tâches et des activités des enseignants à différents moments de la mise en œuvre d'une séquence d'EIST.

9.3.2.4 Travaux d'étudiants

Les étudiants en Master recherche ou en thèse poursuivent des travaux en lien avec certaines de nos problématiques mais aussi en fonction de leurs propres choix :

- Étude de l'enseignement de la réaction chimique en classe de seconde par situation-problème. Il s'agit de voir en quoi ce type de démarche d'enseignement par investigation peut nourrir l'estime de soi d'un élève et contribuer à sa réussite mais aussi changer, par voie de conséquence, son regard sur les sciences en général ;

- Étude de la place de l'expérience dans l'enseignement-apprentissage des sciences physiques et notamment de la manière dont les professeurs s'approprient les démarches innovantes qui leur sont imposées (démarche d'investigation) ;
- Étude des conceptions d'enseignants du primaire concernant la science, en lien avec leurs cursus secondaire et universitaire, ces conceptions pouvant s'ériger en obstacles à l'enseignement des sciences ;
- L'enseignement de la pensée critique en physique-chimie. A travers l'analyse des tâches prescrites et des tâches effectives des enseignants de physique-chimie en collège, il s'agit d'étudier si ces derniers se donnent comme objectif de développer la pensée critique chez leurs élèves, s'ils en ont les moyens et comment s'y prennent-ils.
- Étude de l'enseignement des sciences physiques au niveau secondaire dans les Îles de l'Union des Comores. Il s'agit de caractériser les finalités et les objectifs de l'enseignement de sciences physiques à travers les textes officiels et de cerner la manière dont les enseignants les appréhendent.

9.4 Conclusion

Dans cette note de synthèse, nous avons tenté de montrer en quoi les recherches en didactiques des sciences peuvent participer à la réflexion sur les modifications à apporter à l'enseignement des sciences physiques dans l'enseignement secondaire. Plusieurs directions envisagées actuellement par les décideurs et les institutions semblent questionner particulièrement ce champ de recherches : une refondation partielle des disciplines scolaires scientifiques, une modification des méthodes d'enseignement ou encore la place des technologies de l'information et de la communication. Nous avons discuté ces orientations à partir de la présentation de certains cadres théoriques et de concepts de la didactique des sciences ainsi qu'à travers la présentation de résultats de recherche sur les apprentissages en sciences physiques, sur les interactions didactiques en classe de sciences et sur la place de la didactique des sciences dans la formation des maîtres.

Ces recherches sur les modifications à envisager dans l'enseignement des sciences physiques et plus généralement des sciences et de la technologie sont d'autant plus urgentes que le phénomène de désaffection pour les études scientifiques par les jeunes risquerait, d'une part de mettre en danger le renouvellement des cadres scientifiques et techniques et, d'autre part de creuser le fossé entre le grand public et les experts. Parmi les facteurs pédagogiques et didactiques invoqués pour expliquer cette désaffection pour les études scientifiques, on trouve l'image de la science véhiculée par l'enseignement scolaire peu enthousiasmante ou encore des programmes peu ancrés sur la vie quotidienne et des méthodes pédagogiques trop académiques et rigides. Parmi les facteurs principaux favorisant une attitude positive des élèves envers l'enseignement des sciences, figurent la nature du curriculum et l'environnement scolaire. Il reste à trouver des dispositifs didactiques permettant d'atteindre cet objectif et de modifier le rapport des élèves à l'enseignement scientifique. Dans les nouvelles démarches d'enseignement préconisées en France figurent en particulier la démarche d'investigation et l'enseignement intégré de science et technologie qui semblent de bons candidats. Le premier type de dispositif nécessite une modification profonde de la relation didactique en repensant la place des élèves et celle de l'enseignant mais aussi une réflexion sur les enjeux épistémologiques et les finalités éducatives d'un tel dispositif. Des recherches semblent donc nécessaires pour repérer les difficultés éventuelles des enseignants et des élèves pour mettre en œuvre cette nouvelle pratique d'enseignement-apprentissage dans une perspective de formation des maîtres. Mais ce thème de recherche n'épuisera pas à lui seul la question de l'enseignement des sciences et les perspectives de recherches en didactique des sciences demeurent encore nombreuses.

Bibliographie

Les références précédées d'un astérisque signifient des études issues de méta-analyses.

- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N.-G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 7(22), 665-701.
- Abrahams, I., & Millar, R. (2007). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969.
- Abrahams, I., & Saglam, M. (2009). A study of teachers' views on practical work in secondary schools in England and Wales. *International Journal of Science Education*, 32(6), 753-768.
- Akkus, R., Gunel, M., & Hand, B. (2007). Comparing an inquiry-based approach known as the science writing heuristic to traditional science teaching practices: are there differences? *International Journal of Science Education*, 29(14), 1745-1765.
- Albe, V. (2007). *Des controverses scientifiques socialement vives en éducation aux sciences. État des recherches et perspectives*. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Lyon 2, Lyon.
- Albe, V., & Ruel, F. (2008). Des enseignements de sciences dans une perspective d'éducation citoyenne ? *Didaskalia* 33, 121-140.
- *Alexandre, V. (1996). Les attitudes, définition et domaines. In J.-C. Deschamps & J.-L. Beauvois (Eds.), *La psychologie sociale, tome II, Des attitudes aux attributions : sur la construction sociale de la réalité* (pp. 23-40). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Alluin, F. (2007). L'image des sciences physiques et chimiques au lycée (L.E.G.T. et L.P.). *Les dossiers n°181*. Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance. Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.
- Altet, M. (1994). *La formation professionnelle des enseignants*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Altet, M. (1996). Les dispositifs d'analyse des pratiques pédagogiques en formation d'enseignants : une démarche d'articulation pratique-théorie-pratique. In C. Blanchard-Laville & D. Fablet (Eds.), *L'analyse des pratiques professionnelles* (pp.11-26). Paris: L'Harmattan.
- Amigues, R. (1994). *Construction des faits d'enseignement et voies de recherche en psychologie de l'éducation. Un exemple, les technologies éducatives*. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université de Provence, Aix-Marseille I, Marseille.
- Amigues, R., & Caillot, M. (1990). Les représentations graphiques dans l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité. *European Journal of Psychology of Education*, 5, 477-488.
- Amigues, R., & Ginestié, J. (1991). Représentations et stratégies des élèves dans l'apprentissage d'un langage de commande : le grafset. *Le Travail Humain*, 4, 1-19.
- Arsac, G., Chevallard, Y., Martinand, J.-L., Tiberghien, A. (Eds.). (1994). *La transposition didactique à l'épreuve*. Grenoble: La pensée sauvage.
- Aster. (1998). *Thèmes, thèses, tendances*. 27.
- Aster. (2003). *Interactions langagières 1*. 37.
- Aster. (2004). *Interactions langagières 2*. 38.
- Astolfi, J.-P. (coord). (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris: INRP.
- Astolfi, J.-P. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 3-15.
- Astolfi, J.-P. (1993). Trois paradigmes pour les recherches en didactique. *Revue Française de Pédagogie*, 103, 5-18.
- Astolfi, J.-P. (1994). Didactique plurielle des sciences. Analyse contrastée de quelques publications de recherche. *Aster*, 19, 7-28.

- Astolfi, J.-P., & Develay, M. (1991). *La didactique des sciences*. Deuxième Edition. Paris: Presses Universitaires de France.
- Astolfi, J.-P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y., & Toussaint, J. (1997). *Mots-clés de la didactique. Repères, définitions, bibliographies*. Bruxelles: De Boeck.
- Astolfi, J.-P., & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, 103-141.
- Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B., & Vérin, A. (1998). *Comment les élèves apprennent les sciences*. Paris: Retz.
- Audigier, F., & Tutiaux-Guillon, N. (dir.). (2008). *Compétences et contenus. Les curriculums en question*. Bruxelles: De Boeck.
- Aumont, B., & Mesnier, P.-M. (1992). *L'acte d'apprendre*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Auric, F., Clément, M., Dupin, J.-J., & Johsua, S. (1989). Une autre introduction des circuits électriques en classe de seconde. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 711, 161-175.
- Bacconnier, B. (2006). Pratiques enseignantes. *Les dossiers de la veille*. INRP.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.
- Bachelard, S. (1989). Quelques aspects historiques des notions de modèles et de justification des modèles, In P. Delattre & M. Thellier (Eds.), *Actes du colloque : Elaboration et justification des modèles* (pp. 3-18) Paris: Maloine.
- Badreddine, Z., & Buty, C. (2007, août). *Le script de continuité, un outil méthodologique pour analyser les pratiques enseignantes*. Paper presented at the Congrès International d'Actualité de la Recherche en Éducation et en Formation, Strasbourg.
- Badreddine, Z., & Buty, C. (2009, octobre). *Étude de la cohérence discursive du savoir enseigné ; cas du court-circuit en cinquième*. Paper presented at the Sixièmes journées scientifiques de l'ARDIST, Nantes.
- Balpe, C. (2001). *Enseigner la physique au collège et au lycée. Une approche historique*. Rennes: Presses Universitaires de Rennes.
- Barma, S., & Guilbert, L. (2006). Différentes visions de la culture scientifique et technologique. Défis et contraintes pour les enseignants. In A. Hasni, Y. Lenoir, & J. Lebeaume (dir.), *La formation à l'enseignement des sciences et des technologies dans le secondaire dans le contexte des réformes par compétence* (pp. 11-39). Québec: Presse de l'université du Québec.
- Baron, G.-L., & Bruillard, E. (2001). Une didactique de l'informatique. *Revue Française de Pédagogie*, 135, 163-172.
- Baudelot, C., & Estabiet, R. (2009). *L'élitisme républicain. L'école française à l'épreuve des comparaisons internationales*. Paris: Seuil.
- Beaud, S. (2008). L'université française peine à intégrer les générations de la démocratisation scolaire issues des milieux populaires. Regards croisés sur les relations formation-emploi, *Formation Emploi*, 101.
- Beaufils, D. (1998). Vingt années de thèses en didactique de la physique et de la chimie. *Aster*, 27, 23-43.
- Beaufils, D. (2005). *L'ordinateur, outil de laboratoire en physique : quelles transpositions ?* INRP.
- Beaufils, D. & Larcher, C. (1999). L'expérimental dans la classe. *Aster*, 28, 3-8.
- Beaufils, D., & Ramage, M.-J. (2004). Simulation informatique et enseignement de la physique : regards didactiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 866, 1081-1090.
- Beaufils, D., Blondel, F.-M., Richoux, B., & Salvétat, C. (2002). La simulation en sciences physiques. *Les dossiers de l'ingénierie éducative*, 40, 15-17.
- Bécu-Robinault, K. (1997). Activités de modélisation des élèves en situation de travaux pratiques traditionnels : introduction expérimentale du concept de puissance. *Didaskalia*, 11, 7-37.

- Bécu-Robinault, K., & Lund, K. (2009, octobre). *La reformulation par l'enseignant : outil d'aide à la prise en compte des difficultés des élèves ?* Paper presented at the Sixièmes journées scientifiques de l'ARDIST, Nantes.
- Béduwé, C., Fourcade, B., Giret, J.-F., & Moullet, S. (2006). Les filières scientifiques et l'emploi. Étude sur l'insertion professionnelle des jeunes formés en sciences fondamentales vs sciences appliquées. *Les dossiers n°177*. Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance. Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.
- Beney, M. (1998). *Contribution à l'analyse des phases manipulatoires des travaux pratiques de physique en premier cycle universitaire. Les apprentissages possibles à travers la conduite de l'action*. Thèse de doctorat. Université Paris 11, Paris.
- Beney, M., & Séré, M.-G. (2001). Entre réussir et comprendre ou de l'effet des consignes opératoires sur la compréhension des procédures de mesurage en TP de physique de premier cycle universitaire. *Didaskalia*, 19, 9-37.
- Beney, M., & Séré, M.-G. (2005). Des recherches sur les activités expérimentales. In M. Goffard & A. Weil-Barais (Eds.). *Enseigner et apprendre les sciences. Recherches et pratiques* (pp. 236-238). Paris: Armand Colin.
- Bennett, J., Lubben, F., & Hogarth, S. (2007). Bringing science to life: a synthesis on the research on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*, 91(3), 347-370.
- Bensaude-Vincent, B. (2004). Chimie et société : des relations tumultueuses. *L'actualité chimique*, 280-281, 22-24.
- Beorchia, F., & Boilevin, J.-M. (2009). Enseignement scientifique et technologique dans la scolarité obligatoire : finalités, contenus et formation des maîtres. *Aster*, 49, 7-22.
- Bergé, P. (1997). Sciences et culture. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 797, 1793-1796.
- Bernié, J.-P. (2002). L'approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de « communauté discursive » : un apport à la didactique comparée ? *Revue Française de Pédagogie*, 141, 77-88.
- Bernstein, B. (2000). *Research and Languages of Description in Pedagogy, Symbolic Control and Identity* (2nd ed.). Maryland: Rowman and Littlefield.
- Besson, M.-A. (1989). *Modèle moléculaire ou maquette de molécule*. Mémoire de DEA, Université Pierre et Marie Curie, Paris.
- Besson, M.-A., & Davous, D. (1991). Modèle moléculaire ou maquette de molécule ? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 736, 1107-1126.
- *Biermans, M., De Jong, U., Van Leeuwen, M., & Roeleveld, J. (2005). Opting for science and technology! *European Journal of Education*, 40(4), 433-445.
- Blanchard, M.R., Southerland, S.A., & Granger, E.M. (2009). No silver bullet for inquiry: Making senses of teacher change following an inquiry-based research experience for teachers. *Science Education*, 93(2), 322-360.
- Blanchard, M.R., Southerland, S.A., Osborne, J.W., Sampson, V.D., Annetta, L.A., & Granger, E.M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability? A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94(4), 577-616.
- Boilevin, J.M. (1993). *Les modèles moléculaires. Comment les professeurs de sciences physiques les utilisent-ils ?* Mémoire de DEA, Université Paris 7, Paris.
- Boilevin, J.M. (2000). *Conception et analyse d'un dispositif de formation initiale d'enseignants de physique-chimie utilisant des savoirs issus de la recherche en didactique : un modèle d'activité et des cadres d'analyse des interactions en classe*. Thèse de doctorat, Université de Provence, Marseille.
- Boilevin, J.-M. (2005a). Enseigner la physique par situation-problème ou par problème ouvert. *Aster*, 40, 13-39.

- Boilevin, J.-M. (2005b). Formation de formateurs en didactique des sciences physiques : compte rendu d'expérimentation. *Didaskalia*, 26, 57-74.
- Boilevin, J.-M. (2005c). *Apprentissage de règles de schématisation en électricité au collège*. Paper presented at the Colloque international Noter pour penser. Approches développementales et didactiques, Angers, France.
- Boilevin, J.-M. (2007a). Séquences d'investigation : enjeux et repères. In L. Morge et J.-M. Boilevin (dir.). *Séquences d'investigation en physique – chimie au collège et au lycée* (pp 15-25). Clermont-Ferrand: Scéren.
- Boilevin, J.-M. (2007b). Représentation spatiale de concepts et objectivation des pratiques enseignantes. *Revue en Éducation des Sciences Physiques et Naturelles, des Mathématiques et des TIC*. 1(2), 57-79.
- Boilevin, J.-M., & Brandt-Pomares, P. (2007, août). *Intégration d'ordinateurs portables dans l'organisation de l'étude en physique et en technologie. Symposium pratiques professionnelles et environnements numériques dans l'enseignement ; questions méthodologiques et résultats de recherches*. Paper presented at the Congrès International d'Actualité de la Recherche en Éducation et en Formation, Strasbourg.
- Boilevin, J.-M., & Brandt-Pomares, P. (2010, sous presse). Démarche d'investigation en sciences et en technologie : les conditions d'évolution des pratiques. In M. Grangeat (Ed). *Actes des premières journées d'études S-Team*. Grenoble.
- Boilevin, J.-M., Brandt-Pomares, P., & Ranucci, J.-F. (2005). Un ordinateur portable pour chaque élève : quelles influences sur les enseignements scientifique et technologique au collège. *Actes des Quatrièmes Rencontres Scientifiques de l'ARDIST* (pp. 69-76). Lyon: ARDIST et INRP.
- Boilevin, J.-M., Brandt-Pomares, P., Givry, D., & Delsérieys, A. (2010, septembre). *Démarche d'investigation en sciences et en technologie : quelle appropriation par des enseignants de collège ?* Paper presented at the Congrès International d'Actualité de la Recherche en Éducation et Paper, Genève.
- Boilevin, J.-M., & Dumas-Carré, A. (2001a). Un modèle d'activité de résolution de problèmes de physique en formation initiale d'enseignants. *Aster*, 32, 63-90.
- Boilevin, J.-M., & Dumas-Carré, A. (2001b). Objectivation des pratiques en formation initiale d'enseignants de physique-chimie. In J. Ginestier et A. Dumas-Carré (Eds.). *Actualité de la recherche en didactique des sciences expérimentales et des techniques. Actes des Deuxièmes Rencontres Scientifiques de l'ARDIST* (pp. 359-371). Marseille: IUFM, ARDIST et Association Tour 123.
- Boilevin, J.-M., & Dumas-Carré, A. (2004, mars). *Fonctions de la verbalisation dans l'apprentissage de règles de schématisation en électricité au collège*. Paper presented at the Colloque Faut-il parler pour apprendre ? Arras: IUFM Nord-Pas de Calais, Université Lille3.
- Boilevin, J.-M., Davous, D., & Thibault, J. (1996). Modèles moléculaires et nouveaux programmes au lycée. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 786, 1289-1306.
- Boilevin, J.-M., & Morge, L. (2007, octobre). Repérer et analyser des séquences d'investigation : quels critères ? des exemples. *Actes des 55èmes journées nationales de l'Union des Professeurs de Physique-Chimie*. Retrieved February, 21, 2008, from Udppc Web site: http://udppc.asso.fr/paris2007/actes/index.php?page=fiche_ev&num_ev=158
- Boilevin, J.-M., Morge, L., & Delsérieys, A. (2010, août). *Inquiry-based physics education in French middle school*. Paper presented at the GIREP EPEC Conference Frontiers of Physics Education, Reims, France.
- Boilevin, J.-M., & Ravanis, K. (2007). L'éducation scientifique et technologique à l'école obligatoire face à la désaffection : recherches en didactique, dispositifs et références. In J.-M. Boilevin & K. Ravanis (Eds.), *Regards croisés franco-helléniques sur l'éducation scientifique et technologique à l'école obligatoire* (pp. 5-11). Marseille: IUFM Aix-Marseille.
- Bourdoncle, R. (1991). La professionnalisation des enseignants : analyses sociologiques anglaises et américaines. *Revue Française de Pédagogie*, 94, 73-99.

- Bourny, G., Fumel, S., Monnier, A.-L., & Rocher, T. (2004). Les élèves de 15 ans. Premiers résultats de l'évaluation internationale PISA 2003. *Note d'évaluation n°181*. Direction de l'évaluation et de la prospective. Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.
- Boy, D. (1992). Quelle image les jeunes se font de la science. *Sciences et Vie Hors Série, Sciences à l'école : les raisons du malaise*, 180, 10-17.
- Boy, D. (2007, novembre). Analyse des résultats des enquêtes sur la perception de la société par les chercheurs et réciproquement. In J.-P. Alix, B. Ancori, & P. Petit (Eds.), *Sciences en société au XXI^e siècle : autres relations, autres pratiques* (pp. 1-40). CNRS Edition. Retrieved February, 20, 2010, from Université de Strasbourg Web site http://sciences-societe.u-strasbg.fr/docs/presentations/1_D_Boy.pdf
- Boy, D., & Muxel, A. (1989). Les jeunes et la science. *Bulletin de recherches sur l'information en sciences économiques humaines et sociales*, 4, 129-135.
- Boyer, R., & Tiberghien, A. (1989). Des opinions de professeurs et d'élèves sur l'enseignement des sciences physiques au Lycée. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 712, 305-321.
- Brandt-Pomares, P. (2003). *Les nouvelles technologies de l'information et de la communication dans les enseignements technologiques. De l'organisation des savoirs aux conditions de l'étude : didactique de la consultation d'information*. Thèse de doctorat, Université de Provence, Marseille.
- Brandt-Pomares, P., & Boilevin, J.-M. (2007). L'ordinateur portable comme instrument dans la situation d'enseignement apprentissage en physique et en technologie. In J.-M. Boilevin & K. Ravanis (Eds.), *Regards croisés franco-helléniques sur l'éducation scientifique et technologique à l'école obligatoire* (pp. 77-89). Marseille: IUFM Aix-Marseille.
- Brandt-Pomares, P., & Boilevin, J.-M. (2008). Didactique des sciences physiques, didactique de la technologie, et usage des TICE. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, 4(2), 245-254.
- Brandt-Pomares, P., & Boilevin, J.-M. (2009). Ordinateurs portables et médiations dans l'enseignement : le cas de deux situations en physique et en technologie. In J.-L. Rinaudo & F. Poyet (Eds.), *Environnements numériques en milieu scolaire. Quels usages et quelles pratiques* (pp. 83-105). Lyon: INRP.
- Brénasin, J. (2007). *La démarche expérimentale*. Retrieved February, 11, 2008, from http://www.courville.org/mediawiki/images/8/80/La_demarche_experimentale.pdf
- Brickhouse, N.W. (2006). Celebrating 90 years of Science Education: Reflections on the gold standard and ways of promoting good research. *Science Education*, 90(1), 1-7.
- Brochet, J.-M., Liège, B., Liège, F., Vierfond, M., & Munès M.-C. (1997). Pratique innovante : le projet d'établissement du Lycée pilote Innovant de Jaunay-Clan. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 794, 1019-1035.
- Brochet, J.-M., & Chatillon, J.-C. (1999). Les Travaux Personnels Encadrés (TPE) pourraient ressembler aux Activités Complémentaires de Formation (ACF) pratiquées au Lycée pilote Innovant depuis douze ans. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 818, 1601-1618.
- Bronckart, J.-P., & Groupe LAF (Ed.) (2004). Agir et discours en situation de travail, Genève, *Cahiers de la Section des sciences de l'Éducation*, 103.
- Bronckart, J.-P., & Plazaola Giger, I. (1998). La transposition didactique. Histoire d'une problématique fondatrice. *Pratiques*, 97-98, 35- 58.
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques, *Recherches en didactique des mathématiques*, 7(2), 33-115.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Brown, S.L., & Melear, C.T. (2006). Investigation of secondary science teachers' beliefs and practices after authentic inquiry-based experiences. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(9), 939-962.
- Bruner, J.-S. (1983). *Le développement de l'enfant : savoir faire, savoir dire*. Paris: Presses Universitaires de France.

- Buty, C. (2003). Richesses et limites d'un « modèle matérialisé » informatisé en optique géométrique. *Didaskalia*, 23, 39-63.
- Buty, C., & Plantin, C. (Dir.). (2008). *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. Lyon: INRP.
- Caillot, M. (1988). Circuits électriques : schématisation et résolution de problèmes. *Technologies, Idéologies, Pratiques*, 2(7), 59-83.
- Caillot, M. (Ed.) (1993). *Learning electricity and electronics with advanced educational technology*. Berlin: Springer-verlag.
- Caillot, M. (1996). La théorie de la transposition didactique est-elle transposable ? In C. Raisky et M. Caillot (Eds.), *Au-delà des didactiques, le didactique. Débats autour de concepts fédérateurs* (pp. 19-35). Paris: De Boeck.
- Caillot, M. (2001). Y-a-t-il des élèves en didactique des sciences ? Ou quelles références pour l'élève ? In A. Terrisse (Ed.), *Didactique des disciplines. Les références au savoir* (pp. 141-155). Bruxelles: De Boeck.
- Caillot, M., & Dumas-Carré, A. (1987). PROPHY : un enseignement d'une méthode de résolution de problèmes de physique. In J. Colomb & J.F. Richard (Dir.), *Résolution de problèmes en mathématiques et en physique* (pp. 199-244). Rapports de recherche n°12. Paris: INRP.
- Caillot, M., & Raisky, C. (Eds) (1996). *Au-delà des didactiques, le didactique. Débats autour de concepts fédérateurs*. Paris et Bruxelles: De Boeck.
- Calmettes, B. (2007, août). *Formation d'enseignants débutants à la mise en place d'une démarche d'investigation en classe*. Paper presented at the Congrès International d'Actualité de la Recherche en Éducation et en Formation, Strasbourg.
- Calmettes, B. (2008). Analyse d'un dispositif de formation à l'enseignement en sciences par démarche d'investigation. *Actes du congrès de l'AIPU*, Montpellier: France
- Calmettes, B. (2009). Démarche d'investigation en physique. Des textes officiels aux pratiques de classe. *Spirale*, 43, 139-148.
- Carter, L. (2008). Sociocultural influences on science education: innovation for contemporary times. *Science Education*, 91(1), 165-181.
- Cartwright, N. (1983). *How the laws of physics lie*. Oxford: Clarendon Press.
- Castagna, B. (1971). Les modèles moléculaires et cristallins, auxiliaires indispensables à l'enseignement de la chimie moderne. *Unichimie*, 1, 16-25.
- Cavet, A. (2007). L'enseignement des « questions vives » : lien vivant, lien vital, entre école et société ? *La lettre d'information n°27*. Retrieved October, 13, 2007, from INRP Web site: <http://www.inrp.fr/vst/LettreVST/mai2007.htm>
- Chalmers, A.-F. (1987). *Qu'est-ce que la science ?* Paris: La découverte.
- Charlot, B. (1997). *Rapport au savoir : Éléments pour une théorie*. Paris: Anthropos.
- Charlot, B. (2003). La problématique du rapport au savoir. In S. Maury et M. Caillot (dir.), *Rapport au savoir et didactiques* (pp. 33-50). Paris: Fabert.
- Charlot, B, Bautier, E., & Rochex, J.-Y. (1992). *École et savoir dans les banlieues et ailleurs*. Paris: Armand Colin.
- Charpak, G., Léna, P., & Quéré, Y. (1998). La main à la pâte. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 806, 1149-1150.
- Charpak, G., Léna, P., & Quéré, Y. (2005). *L'enfant et la science. L'aventure de La main à la pâte*. Paris: Odile Jacob.
- Chartrain, J.-L. (2003). *Rôle du rapport au savoir dans l'évolution différenciée des conceptions scientifiques des élèves. Un exemple à propos du volcanisme au cours moyen 2*. Thèse de doctorat, Université Paris 5, Paris.
- Chastrette, M., & Dumon, A. (2007). L'image de la chimie est mauvaise. Pourquoi ? Que faire ? *Didaskalia*, 30, 139-154.

- Cheneval-Armand, H. (2010). *Approche didactique de l'enseignement de la prévention des risques professionnels en baccalauréat professionnel*. Thèse de doctorat, Université de Provence, Marseille.
- Chervel, A. (1998). *La Culture scolaire. Une approche historique*. Paris: Belin.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La Pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Deuxième édition. Grenoble: La Pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (1994). Les processus de transposition didactique et leur théorisation. In G. Arzac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand, & A. Tiberghien (Eds.). *La transposition didactique à l'épreuve* (pp. 135-180). Grenoble: La pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (1997a). L'enseignement des SES est-il une anomalie didactique ? *Skholé*, 6, 25-37.
- Chevallard, Y. (1997b). Les savoirs enseignés et leurs formes scolaires de transmission : un point de vue didactique. *Skholé*, 7, 45-64.
- Chevallard, Y. (2003). Approche anthropologique du rapport au savoir et didactique des mathématiques. In S. Maury & M. Caillot (dir.), *Rapport au savoir et didactiques* (pp. 81-122). Paris: Fabert.
- Chevigny, E. (Coord.) (2009). Faire des sciences physiques et chimiques. *Cahiers pédagogiques*, 469.
- Chi, M.T.H., Feltovich, P.J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5(2), 121-152.
- Chomat, A., Larcher, C., & Méheut, M. (1988). Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième. *Aster*, 7, 142-184.
- Clément, P. (2002, octobre). *Les approches langagières dans les recherches en didactique des sciences et des techniques*. In Assemblée générale de l'ARDIST. Retrieved September, 12, 2007, from ARDIST Web site http://ardist.aix-mrs.ufr.fr/actes/302_21.pdf
- Coelho, S. (1993). *Contribution à l'étude didactique du mesurage en physique dans l'enseignement secondaire : description et analyse de l'activité intellectuelle et pratique des élèves et des enseignants*. Thèse de doctorat, Université Paris 7, Paris.
- Coince, D., Miguet, A.-M., Perrey, S., Rondepierre, T., Vince, J. & Tiberghien, A. (2006). Une introduction à la nature et au fonctionnement de la physique pour des élèves de lycée. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 900, 3-20.
- Commission for the History of Modern Chemistry, Division of the International Society for the History of Sciences. (2004, septembre). *Proceedings of the conference The Public Images of Chemistry in the Twentieth Century*. Paris, France. Retrieved May, 11, 2007, from <http://www.hyle.org/service/chmc2004/abstracts.html>
- *Conne, F. (1992). Savoirs et connaissance dans la perspective de la transposition didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 12(2/3), 221-270.
- Convert, B. (2003). La « désaffectation » pour les études scientifiques. Quelques paradoxes du cas français. *Revue française de sociologie*, 44(3), 449-467.
- Convert, B. (2005a). L'Europe et la crise des vocations scientifiques. *Politique d'éducation et de formation. Analyses et comparaisons internationales*. 15(3), 90-96.
- Convert, B. (2005b). *Étudier les sciences*. Retrieved February, 12, 2007, from http://www.apmep-aix-mr...tudier_les_sciences.doc
- Convert, B. (2006). *Les impasses de la démocratisation scolaire. Sur une prétendue crise des vocations scientifiques*. Paris: Éditions Raisons d'agir.
- Convert, B., & Gugenheim, F. (2005). *La chute des inscriptions dans les filières scientifiques des universités : modalités et mécanismes sociaux explicatifs*. Retrieved February, 13, 2007, from <http://www.irem.univ-montp2.fr/popup/Convert.pdf>

- Convert, B., Gugenheim, F. et Ketterer, F. (2005). *Les bachelier(e)s scientifiques et les sciences*. Retrieved February, 12, 2007, from http://www.apmep-aix-mrs.org/institution/load/Bacheliers_scientifiques.doc
- Coquidé, M. (coord.) (1998). *L'expérimental dans l'enseignement de la biologie* (Rapport final de la recherche associative INRP/IUFM Rouen). Paris: INRP.
- Coquidé, M. (2000). *Le rapport à l'expérimental*. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Paris Sud, Paris.
- Coquidé, M. (2003). Activités expérimentales et perspectives curriculaires. In C. Larcher & M. Goffard (Eds.) (2003). *L'expérimental dans la classe. Enjeux, références, fonctionnements, contraintes* (pp. 85-107). Lyon: INRP.
- Coquidé, M., Fortin, C., & Rumelhard, G. (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster*, 49, 51-78.
- Coquidé, M., & Le Maréchal, J.-F. (2006). Modélisation et simulation dans l'enseignement scientifique. *Aster*, 43, 7-16.
- Cornu, L., & Vergnioux, A. (1992). *La didactique en questions*. Paris: Hachette.
- Cousin, C. (1976). Enseigner les sciences. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 585, 1181-1191.
- Crahay, M. (2006). Dangers, incertitudes et incomplétude de la logique de la compétence en éducation. *Revue Française de Pédagogie*, 154, 97-110.
- Crawford, B.A. (2000). Embracing the essence of inquiry: New roles for sciences teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), 916-937.
- Crawford, B.A. (2007). Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(4), 613-642.
- Daniels, H. (2004). Activity, discourse and Bernstein. *Educational Review*, 56(2), 121-132.
- De Cheveigné, S. (2004, juin). Quand l'Europe mesure les représentations de la science : une analyse critique des Eurobaromètres. In J. Le Marec & I. Babou (Eds.), *Actes du colloque Sciences, Médias et Société* (pp. 41-51). Lyon. Retrieved February, 13, 2007, from ENS-Lyon Web site: <http://sciences-medias.ens-lsh.fr/IMG/pdf/actes.pdf>
- De Feraudy, M.-F., Lebrun, N., & Duval, S. (2003). Entreprendre des études de physique : pour quels métiers. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 859, 1551-1561.
- De Peretti, A. (1992). L'enseignement des sciences au XIX^e siècle. *Sciences et Vie Hors Série, Sciences à l'école : les raisons du malaise*, 180, 30-35.
- Delserieys, A., Boilevin, J.-M., Brandt-Pomares, P., Givry, D., & Martin, P. (2010, sous presse). Enseignement de science et technologie, quels enjeux ? *Revue en Éducation des Sciences Physiques et Naturelles, des Mathématiques et des TIC*. 4(2).
- *Désautels, J. (1987). *Épistémologie et didactique des sciences*. Ottawa: Conseil des sciences du Canada.
- Désautels, J., Larochelle, M., Gagné, B., & Ruel, F. (1993). La formation à l'enseignement des sciences, le virage épistémologique. *Didaskalia*, 1, 49-67.
- De Vecchi, G., & Carmona-Magnaldi, N. (1996). *Faire construire des savoirs*. Paris: Hachette.
- Develay, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 3-15.
- Develay, M. (1992). *De l'apprentissage à l'enseignement*. Paris: ESF.
- Develay, M. (dir.). (1995). *Savoirs scolaires et didactiques des disciplines. Une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris: ESF.
- Develay, M. (1997). Origines, malentendus et spécificités de la didactique. *Revue Française de Pédagogie*, 120, 59-66.
- Dewey, J. (1993). *Logique. La théorie de l'enquête*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Dirand, B. (1973). Scientifiques ou littéraires ? L'école et des enseignants pour quoi faire ? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 553, 721-725.

- Dollo, C. (2001). *Quelques déterminants pour l'évolution des savoirs scolaires en sciences économiques et sociales (l'exemple du chômage)*. Thèse de doctorat, Université de Provence, Aix-en-Provence.
- Douaire, J. (Coord.) (2004). *Argumentation et disciplines scolaires*. Lyon: INRP.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham UK: Open University Press.
- Drouin, A.-M. (1988). Le modèle en question. *Aster*, 7, 1-19.
- Duda, J. Biau, J.-M., Maurel, J. Pabelle, V., Sprauer, A., & Vince, J. (2008). Étude et propositions pour la classe de seconde générale et technologique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 902, 449-461.
- Duggan, S., & Gott, R. (2002). What sort of science education do we really need? *International Journal of Science Education*, 24(7), 661-679.
- Duit, R. (2007, August). Physics education research - Indispensable for improving teaching and learning. In R. Jurdana-Šepić, V. Labinac, M. Žuvić-Butorac, & A. Sušac (Eds.), *Proceedings of the GIREP EPEC Conference Frontiers of Physics Education* (pp. 2-10). Opatija, Croatia.
- Duit, R. (2007). *Bibliography STCSE – Teachers' and students' conceptions and science education*. Kiel, Germany: IPN – Leibniz Institute for Science Education. Retrieved December, 11, 2008, from Université de Kiel Web site: <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.htm>
- Duit, R, Gropengiesser, H., & Kattmann, U. (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: the model of educational reconstruction. In H.E. Fischer (Ed.), *Developing standards in research on science education* (pp. 1-9). London: Taylor & Francis.
- Dumas-Carré, A. (1987). *La résolution de problème en physique au lycée ; le procédural : apprentissage et évaluation*. Thèse d'Etat, Université Paris 7, Paris.
- Dumas-Carré, A. (1994). Une recherche débutante : analyse des pratiques médiatrices des enseignants dans différents contextes d'apprentissage. In A. Weil-Barais & A. Dumas-Carré (Coord.), *Essais d'objectivation et de transformation des pratiques médiatrices des enseignants dans l'éducation scientifique* (Rapport à mi-parcours). Paris: Université Paris7, LIREST-GDSE P7.
- Dumas-Carré, A. (2003). Analyse de la dynamique des échanges. In M. Jaubert, M. Rebière, & J.-P. Bernié (dir.), *Actes du colloque pluridisciplinaire international Construction des connaissances et langage dans les disciplines d'enseignement*. Bordeaux: IUFM d'Aquitaine, Université Bordeaux 2.
- Dumas-Carré, A., Caillot, M., Martinez-Torregrossa, J., & Gil-Perez, D. (1989). Deux approches pour modifier les activités de résolution de problèmes en physique dans l'enseignement secondaire : une tentative de synthèse. *Aster*, 8, 135-157.
- Dumas-Carré, A., & Goffard, M. (1992). Utiliser des problèmes papier / crayon ? Oui, mais autrement. *Bulletin de la Société Française de Physique*, 87, 17-20.
- Dumas-Carré, A., & Goffard, M. (1993). Des activités de résolution de problèmes pour l'apprentissage. *Les Sciences de l'Éducation*, 4-5, 9-32.
- Dumas-Carré, A., & Goffard, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problèmes en physique. Concepts et démarches*. Paris : Armand Colin.
- Dumas-Carré, A., Goffard, M., & Gil-Perez, D. (1992). Difficultés des élèves liées aux différentes activités cognitives de résolution de problèmes. *Aster*, 14, 53-75.
- Dumas-Carré, A., & Weil-Barais, A. (Eds.). (1996). *Actes du Colloque Méthodes et techniques d'analyse des corpus interactifs*. Paris : Université Paris 7, GDSE P7.
- Dumas Carré, A., Weil-Barais, A., Ravanis, K., & Shourchah, F. (2003). Interactions maître-élèves en cours d'activités scientifiques à l'école maternelle : approche comparative. *Bulletin de Psychologie*, 56(4), 493-508.

- Dupin, J.-J. (2007a). Préface, in L. Morge & J.-M. Boilevin (dir.), *Séquences d'investigation en physique – chimie au collège et au lycée* (pp. 7-9). Clermont-Ferrand : Scéren.
- Dupin, J.-J. (2007b). Développement de nouveaux curriculums et nouvelles questions aux didactiques des sciences et de la technologie. In J.-M. Boilevin & K. Ravanis (Eds.), *Regards croisés franco-helléniques sur l'éducation scientifique et technologique à l'école obligatoire* (pp. 165-175). Marseille : IUFM Aix-Marseille.
- Dupin, J.-J. (2009). Que faut-il inventer pour donner le goût des sciences ? *Cahiers pédagogiques*, 469, 35-36.
- Dupriez, V., & Chapelle, G. (dir.) (2007). *Enseigner*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Duverney, D. (2003). Réflexions sur la désaffection pour les études scientifiques. *La gazette des mathématiciens*, 95, 83-101.
- Eastes, R.-E. (2007). La musique de la chimie : du solfège à la mélomanie. L'influence de l'enseignement de la chimie sur son image publique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 890, 67-75.
- El Bilani, R., Montpied, P., & Le Maréchal, J.-F. (2007). Autonomie et motivation lors de l'apprentissage avec un simulateur. *Didaskalia*, 31, 11-45.
- Engeström, Y. (1993). Developmental studies on work as a test bench of activity theory. In S. Chaiklin & J. Lave (Eds.), *Understanding Practice: perspectives on activity and context* (pp. 64-103). Cambridge: Cambridge University Press.
- Fabre, M. (1997). Pensée pédagogique et modèles philosophiques : le cas de la situation-problème. *Revue française de pédagogie*, 120, 49-58.
- Fabre, M. (1999). *Situations-problèmes et savoirs scolaires*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Fabre, M. (2009). *Philosophie et pédagogie du problème*. Paris : Vrin.
- Fauque, D. (2007a). Partager, défendre, agir. In *Actes du 55èmes Journées nationales de l'Union des professeurs de physique et de chimie* (pp. 37-47). Paris.
- Fauque, D. (2007b). Les sciences physiques dans l'enseignement secondaire. Perspective historique. In *Actes du 55èmes Journées nationales de l'Union des professeurs de physique et de chimie* (pp. 49-82). Paris.
- Feyfant, A. (2010). L'apprentissage du métier d'enseignant. *Dossier d'actualité*, 50. En ligne : Retrieved February, 10, 2010, from INRP Web site: <http://www.inrp.fr/vst/LettreVST/50-janvier-2010.php>
- Filliettaz, L., & Schubauer-Léoni, M.-L. (2008). *Processus interactionnels et situations éducatives*. Bruxelles: De Boeck.
- Filliettaz, L., & Schubauer-Léoni, M.-L. (2008). Les processus interactionnels dans leurs dimensions interpersonnelles, socio-historique et sémiotiques. In L. Filliettaz & M.-L. Schubauer-Léoni (Eds.), *Processus interactionnels et situations éducatives* (pp. 7-39). Bruxelles: De Boeck.
- Fillon, P. (2001). Des résultats d'une recherche en didactique à la définition et la mise en situation de contenus de formation. *Aster*, 32, 15-39.
- Fillon, P., & Vérin, A. (2001). Écrire pour comprendre les sciences. *Aster*, 33, 3-16.
- Flammang, C., & Forget, A. (2002). Amélioration de l'enseignement des sciences au premier degré de l'enseignement secondaire. Analyse des effets à court et à moyen terme de l'introduction d'énigmes scientifiques dans des classes. *Cahiers du Service de Pédagogie expérimentale - Université de Liège*, 9-10, 131-149.
- *Forquin, J.-C. (1989). *École et culture*. Bruxelles : De Boeck.
- *Forquin, J.-C. (dir.) (1997). *Les sociologues de l'éducation américains et britanniques*. Bruxelles : De Boeck.
- Fourez, G. (1992). *La construction des sciences*, 2^e édition. Bruxelles: De Boeck.
- Fourez, G. (1994). *Alphabétisation scientifique et technique. Essai sur les finalités de l'enseignement des sciences*. Bruxelles: De Boeck.

- Fourez, G. (2002). Les sciences dans l'enseignement secondaire. *Didaskalia*, 21, 107-122.
- Fourez, G. (2006). Conception des sciences, idéologies et relativisme. *Revue africaine de didactique des sciences et des mathématiques*, 1. Retrieved October, 11, 2009, from Radisma Web site: <http://www.radisma.info/document.php?id=422>
- Fourez, G. (avec la collaboration de M. Larochelle) (2003). *Apprivoiser l'épistémologie*. Bruxelles: De Boeck.
- François, F. (Ed.) (1990). *La communication inégale, heurs et malheurs*. Paris: Delachaux et Niestlé.
- Fréchengues, P. (1999). *Transposition didactique et complexification conceptuelle : contribution à l'étude du cas de l'électron*. Thèse de doctorat, Université Montpellier 2, Montpellier.
- Frey, S. (2006). Les études genre en France. *La Vie de la recherche scientifique*, 367, 34-35.
- Furio-Mas, C.-J., Iturbe-Barrenetxea J., & Reyes-Martin J.-V. (1994). La « résolution de problèmes comme recherche » : une contribution au paradigme constructiviste de l'apprentissage des sciences. *Aster*, 19, 87-102.
- Furtak, E.M. (2006). The problem with answers: An exploration of guided scientific inquiry teaching. *Science Education*, 90(3), 453-467.
- Gaidioz, P., & Tiberghien, A. (2003). Un outil d'enseignement privilégiant la modélisation. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 850, 71-83.
- Gaidioz, P., Vince, J., & Tiberghien, A. (2004). Aider l'élève à comprendre le fonctionnement de la physique et son articulation avec la vie quotidienne. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 866, 1029-1042.
- *Gardner, P.L. (1975). Attitudes to science: a review. *Studies in Science Education*, 2, 3-41
- Garnier, C. (2000). Systèmes de représentations sociales d'élèves du secondaire, de leurs parents et de leurs enseignants en science et technologie. *Perception des jeunes concernant les sciences et les technologies*. Enquête ADRIQ. Retrieved April, 11, 2007, from <http://www.adriq.com/etudes/index.html#2000>
- Gauthier, R.-G. (2006). *Les contenus de l'enseignement secondaire dans le monde : état des lieux et choix stratégiques*. Paris : UNESCO.
- Gauthier, D., Garnier, C., & Marinacci, L. (2005). Les représentations sociales de l'enseignement et de l'apprentissage de la science et de la technologie d'élèves et d'enseignants du secondaire. *Journal International sur les Représentations SOciales*. 2(1), 20-32.
- *Gengarely, L.M., & Abrams, E.D. (2009). Closing the gap: inquiry in research and in the secondary science classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), 74-84.
- Gibson, H.L., & Chase, C. (2002). Longitudinal impact of an inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science. *Science Education*, 86(5), 693-705.
- Gié, H. (1992). Pour une culture scientifique et technique minimale. *Sciences à l'école : les raisons du malaise, Sciences et Vie Hors Série*, 180, 148-155.
- Gilly, M., Roux, J.-P., & Trognon, A. (1999). Interactions sociales et changements cognitifs : fondements pour une analyse séquentielle. In M. Gilly, J.-P. Roux, & A. Trognon (dir.), *Apprendre dans l'interaction : analyse des médiations sémiotiques* (pp. 9-39). Nancy: Presses universitaires de Nancy.
- Gil-Perez, D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique. *Aster*, 17, 41-64.
- Ginestié, J. (2000). Contribution à la constitution de faits didactiques en éducation technologique. In *Actes du colloque Marseille 99, le projet en éducation technologique* (pp. 167-184). Marseille: IUFM Aix Marseille.
- Ginestié, J. (2008a). Gestepro: a scientific, technological, and vocational educational research laboratory. In J. Ginestié (Ed.), *The cultural transmission of artefacts, skills and knowledge: Eleven studies in technology education* (pp. 3-6). Rotterdam: Sense Publishers.

- Ginestíe, J. (2008b). Research in technological education: from references to devices. In J. Ginestíe (Ed.), *The cultural transmission of artefacts, skills and knowledge: Eleven studies in technology education* (pp. 13-18). Rotterdam: Sense Publishers.
- Ginestíe, J. (2008c). From task to activity, a distribution of the roles between the teacher and the pupils. In J. Ginestíe (Ed.), *The cultural transmission of artefacts, skills and knowledge: Eleven studies in technology education* (pp. 225-256). Rotterdam: Sense Publishers.
- Ginestíe, J., & Andreucci, C. (1997, avril). *Approach of assessment and teaching meaningful in Technology education in France: tries and mistakes*. Paper presented at the 8th PATT Conference, Breukelen.
- Giordan, A. (Coord.) (2006). La culture scientifique. *Cahiers pédagogiques*, 443.
- Giordan, A. (2010). Nouveaux contenus, nouvelles pratiques : peut-on mutualiser les problèmes et les acquis ? In A. Hasni & J. Lebeaume (dir.), *Enjeux contemporains de l'éducation scientifique et technologique* (pp. 17-49). Québec: Presse de l'université du Québec.
- Giordan, A., & Girault, Y. (1994). *Les aspects qualitatifs de l'enseignement des sciences dans les pays francophones*. Paris: UNESCO, Institut international de planification de l'éducation.
- Givry, D. (2003). *Étude de l'évolution des idées des élèves de seconde durant une séquence d'enseignement sur les gaz*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2, Lyon.
- Givry, D., & Roth, W.-M. (2006). Toward a New Conception of Conceptions: Interplay of Talk, Gestures, and Structures in the Setting. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(10), 1086-1109.
- Goffard, M. (1990). *Modes de travail pédagogique et résolution de problèmes de physique*. Thèse de doctorat, Université Paris 7, Paris.
- Goffard, M. (1992). Partager le savoir, partager le pouvoir. *Science et Vie, Hors série*, 180, 84-89.
- Goffard, M. (2000, avril). *Rapport au savoir et activités de documentation scientifiques*. Paper presented at the Colloque Rapport au savoir et apprentissages scientifiques. Sfax, Tunisie.
- Goffard, M. (2003). Les activités expérimentales : un état des lieux. In C. Larcher & M. Goffard (Eds.) (2003). *L'expérimental dans la classe. Enjeux, références, fonctionnements, contraintes* (pp. 9-19). Lyon: INRP.
- Goffard, M. (2007). Pratiques et démarches expérimentales. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 898, 37-39.
- Goffard, M., & Dumas-Carré, A. (1993). Le problème de physique et sa pédagogie. *Aster*, 16, 9-28.
- Goffard, M., & Weil-Barais, A. (Eds.). (2005). *Enseigner et apprendre les sciences. Recherches et pratiques*. Paris: Armand Colin
- Gomatos, L. (1996). *Résolution de problème de physique en petits groupes : apports et difficultés*. Thèse de doctorat, Université Paris 7, Paris.
- *Goodwin, C. (2000). Action and embodiment within situated human interaction. *Journal of Pragmatics*, 32, 1489–1522.
- Groupe d'experts français en sciences de l'évaluation internationale PISA. (2007). La culture scientifique des élèves français de quinze ans. Résultats de l'évaluation internationale PISA 2003. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 890, 31-42.
- Groupe interuniversitaire projet Sophia. (2009). Formation des enseignants : un exemple de recherche action. *Revue Internationale d'éducation*, 51, 47-58.
- Growing Interest in the Development of Teaching Science (GRID) (2006). Report of the reports and of the initiatives. GRID Project. Retrieved January, 15, 2008, from http://www.grid-network.eu/outputs/GRID_Analysis_Report.pdf
- Gueudet, G., Bueno-Ravel, L., Ferrière, H., Forest, D., Kuster, Y., Laubé, S., & Sensévy, G. (2009). Technologies, resources, and inquiry-based science teaching. A literature review. In *Mind the Gap FP7 project 217725*, (Deliverable 5.1). Retrieved June, 18, 2010, from Mind the Gap Web site: <http://www.uv.uio.no/english/research/projects/mindingthegap/Deliverables/index.html>

- Guilbert, L. & Meloche, D. (1993). L'idée de science chez des enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions. *Didaskalia*, 2, 7-30.
- Gyllenpalm, J., Wickman, P-O., & Holmgren, S-O. (2010). Teachers' language on scientific inquiry: methods of teaching or methods of inquiry? *International Journal of Science Education*, 39 (9), 1151-1172.
- Haas, J. (2005a, novembre). *Fluctuations des entrées dans les formations scientifiques et déséquilibre du marché professionnel : le cas allemand*. Paper presented at the Colloque « La crise mondiale des sciences ». Lille: Conseil Régional Pas de Calais.
- Haas, J. (2005b). La conjoncture industrielle et la désaffection pour les études scientifiques. *Politiques d'éducation et de formation. Analyses et comparaisons internationales*, 15(2), 35-57.
- Habermas, J. (1987). *Théorie de l'agir communicationnel*. Paris: Fayard.
- Hacking, I. (1989). *Concevoir et expérimenter*. Paris: Christian Bourgois.
- Hadji, C., & Baillé, J. (Eds.). (1998). *Recherche et éducation. Vers une nouvelle alliance. La démarche de preuve en 10 questions*. Paris : De Boeck.
- Hadji, C., & Baillé, J. (1998). De l'intelligence de la « chose éducative ». In C. Hadji & J. Baillé (Eds.), *Recherche et éducation. Vers une nouvelle alliance. La démarche de preuve en 10 questions* (pp. 9-25). Paris: De Boeck.
- Haefner, L.A. (2004). Learning by doing? Prospective elementary teachers' developing understandings of scientific inquiry and science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 26(13), 1653-1674.
- Halbwachs, F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. Neufchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Halbwachs, F. (1975). La physique du maître entre la physique du physicien et la physique de l'élève. *Revue Française de Pédagogie*, 33, 19-39.
- Halté, J.-F. (1992). *La didactique du français*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Harfi, M. (2006). La France souffre-t-elle d'une désaffection de ses étudiants pour les filières scientifiques ? Centre d'analyse stratégique, *La note de veille*, 30, 1-4.
- Harlen, W., & Allende, J.E. (2009a). *Teacher professional development in pre-secondary school inquiry-based science education (IBSE)*. Retrieved May, 13, 2010, from InterAcadmy Panel Web site: <http://www.interacademies.net/CMS/Programmes/3123.aspx>
- Hasni, A. (2006). Statut des disciplines scientifiques dans le cadre de la formation par compétences à l'enseignement des sciences au secondaire. In A. Hasni, Y. Lenoir, & J. Lebeaume (dir.), *La formation à l'enseignement des sciences et des technologies dans le secondaire dans le contexte des réformes par compétence* (pp. 121-156). Québec: Presse de l'université du Québec.
- Hasni, A., & Lebeaume, J. (dir.). (2008). *Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique*. Sherbrooke : CRP.
- Hasni, A., Lenoir, Y. & Lebeaume, J. (dir.). (2006). *La formation à l'enseignement des sciences et des technologies dans le secondaire dans le contexte des réformes par compétence*. Québec: Presse de l'université du Québec.
- Hasni, A., Lenoir, Y., Larose, F., Samson, G., Bousadra, F., Satiro dos Santos, C. (2008). Enseignement des sciences et technologies et interdisciplinarité : point de vue d'enseignants du secondaire québécois sur leurs pratiques. In A. Hasni & Lebeaume, J. (Ed.), *Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique* (pp. 75-110). Sherbrooke : CRP.
- *Haste, H. (2004). *Science in my future: a study of the values and beliefs in relation to science and technology amongst 11-21 year olds*. Nestlé Social Research Program.
- *Häussler, P., & Hoffman, L. (2000). A curricular frame for physics education: development, comparison with students' interests, and impact on students' achievement and self-concept. *Science Education*, 84(6), 689-705.

- *Häussler, P., Hoffman, L., Langeheine, R., Rost, J., & Sievers, K. (1998). A typology of students' interest in physics and the distribution of gender and age within each type. *International Journal of Science Education*, 20 (2), 223-238.
- Hodson, D. (2003). Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645-670.
- Hodson, D. (2006). Pour une approche plus critique du travail pratique en science à l'école. In A. Hasni, Y. Lenoir, & J. Lebeaume (dir.), *La formation à l'enseignement des sciences et des technologies dans le secondaire dans le contexte des réformes par compétence* (pp. 59-95). Québec : Presse de l'université du Québec.
- Hofstein, A., & Lunetta, V.N. (2004). The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54.
- Hofstein, A. Navon, O., Kipnis, M., & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. *Journal of research in science teaching*, 42(7), 791-806.
- Holbrook, J., & Kolodner, J.L. (2000). Scaffolding the development of an inquiry-based (science) classroom. In B. Fishman & S. O'Connor-Divelbiss (Eds.), *Proceedings of the Fourth International Conference of the Learning Sciences* (pp. 221-227). Mahwah, NJ : Erlbaum.
- Host, V. (1989). Systèmes et modèles : quelques repères bibliographiques. *Aster*, 8, 187-209.
- Howes, E.V., Lim, M., & Campos, J. (2008). Journeys into inquiry-based elementary science: literacy practices, questioning, and empirical study. *Science Education*, 93(2), 189-217.
- Hulin, M. (1989). Constatations et thèses sur l'enseignement scientifique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, supplément 713, 4-8.
- Hulin, M. (1990a). La vulgarisation et l'enseignement face à un défi : la création et la diffusion d'une culture scientifique et technique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 720, 1-15.
- Hulin, M. (1990b). Faire évoluer le problème de physique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 728, 1301-1308.
- Hulin, N. (1992a). Caractère expérimental de l'enseignement de la physique : XIX^e-XX^e siècle. 1^{ère} partie. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 748, 1403-1415.
- Hulin, N. (1992b). Caractère expérimental de l'enseignement de la physique : XIX^e-XX^e siècle. 2^{ème} partie. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 749, 1565-1580.
- Hulin, N. (2002a). Sciences pour les filles, sciences pour les garçons. Aperçu sur un siècle d'histoire de l'enseignement féminin. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 843, 723-732.
- Hulin, N. (2002b). *Les femmes et l'enseignement scientifique*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Hulin, N. (2005). *L'enseignement et les sciences. L'exemple français au début du XX^e siècle*. Paris: Vuibert.
- Hume, A., & Coll, R. (2008). Student experiences of carrying out a practical science investigation under direction. *International Journal of Science Education*, 30(9), 1201-1228.
- Impériali, F. (2003). La désaffectation se poursuit. *Journal du CNRS*, 159. Retrieved January, 10, 2010, from CNRS Web site: <http://www2.cnrs.fr/journal/580.htm>
- Jacobi, D., & Peterfalvi, B. (2004). Interactions langagières : regards didactiques, regards linguistiques. *Aster*, 38, 3-13.
- Jenkins, E.W. (2000). The impact of the national curriculum on secondary school science teaching in England and Wales. *International Journal of Science Education*, 22(3), 325-336.
- Johsua, S. (1982). *L'utilisation du schéma en électrocinétique. Aspects perceptifs et aspects conceptuels*. Thèse de 3^{ème} Cycle, Université Aix-Marseille 2, Marseille.
- 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, Université Aix-Marseille 2, Marseille.

- Johsua, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, 8, 28-53.
- Johsua, S. (1990). Le débat pédagogique à travers la lecture du bulletin de l'Union des Physiciens (1907-1980). *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 726, 871-888.
- Johsua, S. (1994). Quelques conditions d'évolution d'un objet d'enseignement en physique : l'exemple des circuits électriques. In G. Arzac, Y. Chevillard, J.-L. Martinand, & A. Tiberghien (Eds.). *La transposition didactique à l'épreuve* (pp. 9-33). Grenoble: La pensée sauvage.
- Johsua, S. (1996). Le concept de transposition didactique n'est-il propre qu'aux mathématiques ? In C. Raisky et M. Caillot (Eds.). *Au-delà des didactiques, le didactique. Débats autour de concepts fédérateurs* (pp. 61-73). Paris: De Boeck.
- Johsua, S. (1997). Le concept de transposition didactique peut-il étendre sa portée au-delà de la didactique des sciences et des mathématiques ? *Cahiers de la Recherche et du Développement, Skholé*, 6, 15-23. Marseille: IUFM Aix Marseille.
- Johsua, S. (2002). Spécificités disciplinaires, spécificités didactiques : vers une didactique comparée. In P. Venturini, C. Amade-Escot, & A. Terrisse (Eds.). *Étude des pratiques effectives : l'approche des didactiques* (pp. 17-24). Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1984). Schematic diagrams, representations and types of reasoning in basic electricity. In R. Duit, W. Jung & C. Rhoneck (Eds.) *Aspects of understanding electricity* (pp. 129-139). Kiel: IPN.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le « débat scientifique » dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne: Peter Lang.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Jones, M.T., & Eick, C.J. (2007). Implementing inquiry kit curriculum: obstacles, adaptations, and practical knowledge development in two middle school science teachers. *Science Education*, 91(3), 492-513.
- Jonnaert, P. (2001). La question de la référence en didactique. La posture épistémologique du chercheur et ses implications. In A. Terrisse (Ed.). *Didactique des disciplines. Les références au savoir* (pp. 49-64). Bruxelles: De Boeck.
- Jonnaert, P., & Vander Borght, C. (1999). *Créer des conditions d'apprentissage. Un cadre de référence pour la formation didactique des enseignants*. Bruxelles : De Boeck.
- Jorde, D. (2010). Summation seminar report. In *Mind the Gap FP7 project 217725*, (Deliverable 2.6). Retrieved June, 18, 2010, from Mind the Gap Web site: <http://www.uio.no/english/research/projects/mindingthegap/Deliverables/index.html>
- Journeaux, R. & Séré, M.-G. (1995). La mesure en terminale scientifique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 779, 1925-1945.
- Kahn, P. (2000). L'enseignement des sciences, de Ferry à l'éveil. *Aster*, 31, 9-35.
- Kalali, F. (2005). Motivation, orientation et réussite scolaires : quelle éducation pour les filles ? *Éducatrices féminines, Trames*, 12, 119-130.
- Kaminski, W. (1991). *Optique élémentaire en classe de quatrième : raison et impact sur les maîtres d'une maquette d'enseignement*. Thèse de doctorat, Université Paris 7, Paris.
- Kermen, I., & Méheut, M. (2008). Mise en place d'un nouveau programme à propos de l'évolution des systèmes chimiques : impact sur les connaissances professionnelles d'enseignants. *Didaskalia*, 32, 77-116.
- Keys, C.W., & Bryan, L.A. (2001). Co-construction inquiry-based science with teachers: essential research for lasting reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 631-645.
- Klopper, L.E. (1976). A structure for the affective domain in relation to science education. *Science Education*, 60(3), 299-312.
- Koulaidis, V., & Tsatsaroni, A. (1999). Un cadre pour reconsidérer l'enseignement des sciences. Distinguer expérimentation et expérience. *Aster*, 28, 167-190.

- Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. (2001). *Multimodal Teaching and Learning. The Rhetorics of the Science Classroom*. Londres: Continuum.
- Lagarrigue, A. (1971). Réponse à Monsieur le Ministre de l'Éducation nationale. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 537, 1117-1120.
- Lagarrigue, A. (1973). La commission ministérielle pour la rénovation de l'enseignement des sciences physiques : un premier bilan. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 551, 496-512.
- Lang, V. (1996). Professionnalisation des enseignants, conceptions du métier, modèles de formation. *Recherche et formation*, 23, 9-27.
- Larcher, C. (1996). La physique et la chimie, sciences de modèles. In J. Toussaint (coord.) *Didactique appliquée de la physique-chimie* (pp. 160-178). Paris: Nathan.
- Larcher, C., & Goffard, M. (Eds) (2003). *L'expérimental dans la classe. Enjeux, références, fonctionnements, contraintes*. Lyon: INRP.
- Larcher, C., Lebeaume, J., & Magneron, N. (2006). Présentation. In J. Lebeaume & C. Larcher (Eds.), *Actes du Séminaire de didactique des sciences expérimentales et des disciplines technologiques, Cachan 2004-2005*. Paris: Association Tour 123.
- Larcher, C., & Peterfalvi, B. (2006). Diversification des démarches en classe de sciences. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 886, 825-834.
- Larochelle, M., & Désautels, J. (1992). *Autour de l'idée de science. Itinéraires cognitifs d'étudiants et d'étudiantes*. Bruxelles: De Boeck.
- Larose, F., Grenon, V., & Palm, S.-B. (2004). *Enquête sur l'état des pratiques d'appropriation et de mise en œuvre des ressources informatiques par les enseignantes et les enseignants du Québec*. Sherbrooke: Centre de Recherche sur l'Intervention Éducative.
- *Latour, B. (1996). Sur la pratique des théoriciens. In J.-M. Barbier (dir.), *Savoirs théoriques, savoirs d'action* (pp. 131-146). Paris: Presses Universitaires de France.
- Latour, B., & Woolgar, S. (1988). *La vie de laboratoire*. Paris : La Découverte.
- Laudan, L. (1977). *La dynamique de la science*. Bruxelles : Madraga.
- Laugier, A., & Dumon, A. (1998). Enseigner les sciences physiques avec de jeunes élèves. Quelle épistémologie pour quelle démarche ? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 806, 1257-1278.
- Laugier, A. (2004). La démarche d'investigation au collège : du déjà vu ou une (Ré)volution annoncée ? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 866, 1043-1056.
- Lautrey, J., Rémi-Giraud, S., Sander, E., & Tiberghien, A. (2008). *Les connaissances naïves*. Paris: Armand Colin.
- Leach, J. (2006, avril). Epistemological perspectives in research on teaching and learning science. Paper presented as part of the symposium *Research on epistemology: bridging disciplinary boundaries and theoretical perspectives*, American Educational Research Association, San Francisco.
- Leach, J., Millar, R., Ryder, J., & Séré, M.-G. (2000). Epistemological understanding in science learning: the consistency of representations across contexts. *Learning and Instruction*, 34(6), 497-527.
- Lebeaume, J. (2008). *L'enseignement des sciences à l'école. Des leçons de choses à la technologie*. Paris : Delagrave.
- Lebeaume, J., & Larcher, C. (2006). Mutations actuelles des sciences et techniques. Évolution de leur enseignement et de leur diffusion. Refondations à venir. In J. Lebeaume & C. Larcher (Eds.), *Actes du Séminaire de didactique des sciences expérimentales et des disciplines technologiques, Cachan 2004-2005*. Paris : Association Tour 123.
- Lederman, N.-G. (1992). Students' and teachers' conceptions on the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 313-359.
- *Lederman, N. G. (2004). Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. In N.G. Lederman (Ed.), *Scientific inquiry and the nature of science* (pp. 301-317). London: Kluwer.

- Lee, O., Buxton, C., Lewis, S., & Leroy, K. (2006). Science inquiry and student diversity: enhanced abilities and continuing difficulties after an instructional intervention. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(7), 607-636.
- Lefour, J.-M., & Chambaud, G. (2004). La complémentarité enseignement/vulgarisation. Une piste pour répondre à la désaffection des élèves pour les études scientifiques ? *L'actualité chimique*, 280-281, 53-55.
- Lemaire, S. (2004). Que deviennent les bacheliers après leur baccalauréat ? Évolution 1996-2002. *Note d'information 04.14*. Direction de l'évaluation et de la prospective, Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.
- Lemaire, S. (2005). Que deviennent les bacheliers après leur baccalauréat ? *France, portrait social 2004/2005*, INSEE, 133-150.
- Lemaire, S., & Leseur, B. (2005). Les bacheliers S : motivations et choix d'orientation après le baccalauréat. *Note d'information 05.15*. Direction de l'évaluation et de la prospective, Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.
- Lemeignan, G., & Weil-Barais, A. (1988). Gestion d'activités de modélisation en classe. *Aster*, 7, 121-141.
- Lemeignan, G., & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris: Hachette.
- Léna, P. (1999). Désirs de science, désirs de vie. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 810, 7-17.
- Léna, P. (2009a). *L'enseignement des sciences et la crise des vocations scientifiques*. In Forum Universalis 2009. Retrieved November, 10, 2009, from Encyclopaedia Universalis Web site: <http://www.universalis.fr/encyclopedie/enseignement-des-sciences/>
- Léna, P. (2009b). L'aventure de La main à la pâte. *Revue Internationale d'éducation*, 51, 115-123.
- Lenoir, Y. (1996). Médiation cognitive et médiation didactique. In C. Raisky, et M. Caillot, (Eds.), *Au-delà des didactiques, le didactique. Débats autour de concepts fédérateurs* (pp. 223-251). Bruxelles : De Boeck.
- Lenoir, Y., & Vanhulle, S. (2006). Étudier la pratique enseignante dans sa complexité. Une exigence pour la recherche et la formation à l'enseignement. In A. Hasni, Y. Lenoir, & J. Lebeaume (dir.), *La formation à l'enseignement des sciences et des technologies dans le secondaire dans le contexte des réformes par compétence* (pp. 193-245). Québec : Presse de l'université du Québec.
- Lenoir, Y., Lebeaume, J., & Hasni, A. (2006). De la nécessité de finalités explicites pour assurer des pratiques adéquates. In A. Hasni, Y. Lenoir, & J. Lebeaume (dir.), *La formation à l'enseignement des sciences et des technologies dans le secondaire dans le contexte des réformes par compétence* (pp. 247-260). Québec : Presse de l'université du Québec.
- Leontiev, A. (1974). The problem of activity in psychology. *Soviet Psychology*, 13, 14-33.
- Leontiev, A. (1975). *Activité, conscience, personnalité*, Moscou: Éditions du progrès.
- *Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail. Contribution à la psychologie ergonomique*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Lesne, M. (1977). *Travail pédagogique et formation d'adulte*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Lévy-Leblond, J.-M. (1984). *L'esprit de sel (science, culture, politique)*. Paris: Seuil.
- Lévy-Leblond, J.-M. (1996). *La pierre de touche. La science à l'épreuve ...* Paris: Gallimard.
- Lewis, J., & Leach, J. (2006). Discussion of Socio-scientific issues: the role of science knowledge. *International Journal of Science Education*, 28(11), 1267-1287.
- Lin, H.S., Hong, Z.R., & Cheng, Y.Y. (2008). The interplay of the classroom learning environment and inquiry-based activities. *International Journal of Science Education*, 31(8), 1013-1024.
- Linn, M. C., Clark, D., & Slotta, J.D. (2003). WISE design for knowledge integration. *Science Education*, 87(4), 517-538.
- Liouliou, M. (2007). Des mini-laboratoires séduisent le Moyen-Orient. *Planète SCIENCE*, 5(4), 21-23.

- Lipowski, K., & Seidel, T. (2009). Existing models of teacher professional development on IBST in seven European countries. In *Mind the Gap FP7 project 217725*, (Deliverable 6.1). Retrieved June, 18, 2010, from Mind the Gap Web site:
<http://www.uv.uio.no/english/research/projects/mindingthegap/Deliverables/index.html>
- Lixi, C. (2003). Qui sont les nouveaux bacheliers inscrits à l'université ? Motivations et représentations des nouveaux bacheliers inscrits en DEUG à la rentrée 2002. *Note d'information 03.26*. Direction de l'évaluation et de la prospective, Ministère de la Jeunesse, de l'Éducation nationale et de la Recherche.
- Longo, T. (2003, février). *Crise des vocations scientifiques et images de la science ; quelques réflexions avant une enquête internationale sur le sens que les élèves de l'école secondaire donnent à la science*. Paper presented at the Colloque National sur les Études Scientifiques Universitaires. Bordeaux. Retrieved February, 13, 2007, from Université Bordeaux 1 Web site: <<http://www.u-bordeaux1.fr/Colloque-Sciences/>>
- Loumouamou, A.-N. (1998). *Contribution à l'étude de la transposition didactique en chimie organique*. Thèse de doctorat, Université de Grenoble 1, Grenoble.
- Luft, J.A. (2001). Changing inquiry practices and beliefs: the impact of an inquiry-based professional development programme on beginning and experienced secondary science teacher. *International Journal of Science Education*, 23(5), 517-534.
- Luria, A. (1979). *The making of mind: A personal account of Soviet Psychology*. Cambridge, M.A.: Harvard University Press.
- Mairone, C. (2009). *L'enseignement de l'évolution des espèces vivantes à l'école primaire française. Rapports au savoir d'enseignants et d'élèves du cycle 3*. Thèse de doctorat, Université de Provence, Marseille.
- Mairone, C., & Dupin, J.-J. (2008). Rapport au savoir « évolution des espèces vivantes » chez des professeurs des écoles primaires françaises. *Didaskalia*, 33, 33-61.
- Malkoun, L., & Tiberghien, A. (2008). Objets de savoir et processus scientifiques en jeu dans les productions discursives en classe de physique de lycée. In L. Filliettaz, & M.-L. Schubauer-Léoni (Eds.), *Processus interactionnels et situations éducatives* (pp. 67-88). Bruxelles: De Boeck.
- Mangez, E., & Liénard, G. (2008). Sociologie du curriculum. In A. Van Zanten (dir.), *Dictionnaire de l'éducation* (pp. 103-107). Paris: Presses Universitaires de France.
- Marck, P. (1972). Faut-il rénover les programmes ? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 544, 781-782.
- *Martin, M.O., Mullis, I.V.S., Gonzalez, E.J., Gregory, K.D., Smith, T.A., Chrostowski, S.J., Garden, R.A., & O'Connor, K.M. (2000). *TIMSS 1999 International Science Report: Findings from IEA's repeat of the Third International Mathematics and Science Study at the eighth grade*. Boston, MA: International Study Center.
- Martinand, J.-L. (1985). Sur la caractérisation des objectifs de l'initiation aux sciences physiques. *Aster*, 1.
- Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne: Peter Lang.
- Martinand, J.-L. (1987). Quelques remarques sur les didactiques des disciplines. *Les sciences de l'éducation*, 1-2.
- Martinand, J.-L. (1989). Pratiques de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences et technique. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, 2, 23-29.
- Martinand, J.-L. (dir.) (1991). *Développement de l'activité de modélisation dans l'enseignement des sciences physiques*. Rapport de fin de contrat LIREST-DESUP. Document LIREST, Paris : Université Paris 7.
- Martinand, J.-L. (dir.) (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris: INRP.
- Martinand, J.-L. (1994a). La didactique des sciences et de la technologie et la formation des enseignants. *La didactique des sciences en Europe. Aster*, 19, 61-75.

- Martinand, J.-L. (dir.) (1994b). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris: INRP.
- Martinand, J.-L. (2001). Pratiques de référence et problématique de la référence curriculaire. In A. Terrisse (Ed.), *Didactique des disciplines. Les références au savoir* (pp. 16-24). Bruxelles: De Boeck.
- Martinand, J.-L. (2002). Trois questions à la recherche en didactique des sciences. *Les Dossiers des Sciences de l'Éducation*, 26, 123-125.
- Marx, R.W., Blumenfeld, P.C., Krajcik, J.S., Fishman, B. Soloway, E., Geier, R., & Tali Tal, R. (2004). Inquiry-based science in the middle grades: assessment of learning in urban systemic reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 1063-1080.
- Matalon, B. (1996). *La construction des sciences. De l'épistémologie à la sociologie de la connaissance scientifique*. Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.
- Mathé, S. Méheut, M., & de Hosson, C. (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? *Didaskalia*, 32, 41-76.
- Mathy, P. (1997). *Donner du sens aux cours de sciences. Des outils pour la formation éthique et épistémologique des enseignants*. Paris: De Boeck.
- Matthews, M.R. (2000). *Time for science education: how teaching the history and philosophy of pendulum motion can contribute to science literacy*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Matthews, M.R. (2007). Science education and the scientific revolution: a way to learn about science. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 1(1), 49-61.
- Maurel, J., & Sonnevile, M. (2002). Des « campagnes » de questions aux fiches de synthèse en passant par les rapports et les colloques : une année « politique ». *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 845, 1023-1038.
- Méheut, M. (1997). Designing a learning sequence about a pre-kinetic model of gases: the parts played by questions and by a computer-simulation. *International Journal of Science Education*, 19(6), 647-660.
- Méheut, M. (2006). Recherche en didactique et formation des enseignants de sciences. In *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. États des lieux des politiques et de la recherche*, 55-76. Direction Générale de l'Éducation et de la Culture. Commission Européenne.
- Méheut, M., De Hosson, C., & Thauvin-Roy, E. (2006). TP top, situation problème, démarche d'investigation : des modalités d'évolution pour l'enseignement des sciences physiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 886, 835-846.
- Mercier, A., & Buty, C. (2004). Évaluer et comprendre les effets de l'enseignement sur les apprentissages des élèves : problématiques et méthodes en didactique des mathématiques et des sciences. *Revue Française de Pédagogie*, 148, 47-59.
- Meunier, O. (2005). Standards, compétences de base et socle commun. *Les dossiers de la veille*. Retrieved April, 17, 2007, from INRP Web site: http://www.inrp.fr/vst/Dossiers/Standards/Dossier_Standards.pdf
- Millar, R. (1996). Investigations des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, 9, 9-30.
- Millar, R. (2006). Twenty First Century Science: insights from the design and implementation of a scientific literacy approach in school science. *International Journal of Science Education*, 28(13), 1499-1521.
- Millar, R., Leach, J., Osborne, J., & Ratcliffe, M. (2006). *Improving subject teaching*. London: Routledge.
- Minner, D.D., Jurist Levy, A., & Century, J. (2009). Inquiry-based science instruction-What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496.

- *Minstrell, J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niederer (Eds.), *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies* (pp. 110-128). Kiel: IPN.
- Moebius, S., & Magrefi, F. (Ed.) (2006). *Memorandum on the Obstacles hindering the upgrading of science teaching at school*. GRID Project. Retrieved January, 15, 2008, from http://www.grid-network.eu/outputs/GRID_Memorandum.pdf
- Monnier, A.-L. (2007). L'évaluation internationale PISA 2003 : compétences des élèves français en mathématiques, compréhension de l'écrit et sciences. *Les dossiers n°180*. Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance, Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.
- Mons, N. (coord). (2008). Évaluation des politiques éducatives et comparaisons internationales. *Revue Française de Pédagogie*, 164, 5-13.
- Montpied, P., Hiolle, V., Gaidioz, P., Tiberghien, A., & Vince, J. (2007). Profils d'attitudes à l'égard des sciences chez des élèves fin de collège et début de lycée : influence sur les formes de motivation en classe et perspectives pour les pratiques pédagogiques. In *Actes des Cinquièmes Rencontres de l'ARDIST* (pp. 273-279). Montpellier : IUFM Montpellier.
- Morge, L. (1997). *Essai de formation professionnelle des professeurs de Sciences Physiques portant sur les interactions en classe. Etude de cas en formation initiale*. Thèse de doctorat, Université Paris 7, Paris.
- Morge, L. (2001). Caractérisation des phases de conclusion dans l'enseignement scientifique. *Didaskalia*, 18, 99-120.
- Morge, L. (2003a). Les connaissances professionnelles locales : le cas d'une séance sur le modèle particulaire. *Didaskalia*, 23, 101-132.
- Morge, L. (2003b). De l'objectivation à la simulation des interactions maître-élèves. *Aster*, 37, 139-163.
- Morge, L. (2007). Modélisation des séquences d'apprentissage par investigation issues de la recherche en didactique des sciences physiques et chimiques. In L. Morge et J.-M. Boilevin (dir.) *Séquences d'investigation en physique – chimie au collège et au lycée*. (pp. 26-55). Clermont-Ferrand : Scéren.
- Morge, L. (2008, octobre). *De la modélisation didactique à la simulation assistée sur ordinateur des interactions langagières en classe*. Paper presented at the Sixièmes journées scientifiques de l'ARDIST, Nantes.
- Morge, L. (2008). La simulation croisée pour accéder aux connaissances professionnelles didactiques locales (LPCK) acquises par l'expérience. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- Morge, L., & Boilevin, J.-M. (Dir.) (2007). *Séquences d'investigation en physique – chimie au collège et au lycée*. Clermont-Ferrand : Scéren.
- Morge, L., Toczek M.-C., & Chakroun, N. (2010). A training programme on managing science class interactions: its impact on teachers' practices and on their pupils? Achievement. *Teaching and Teacher Education*, 26, 415- 426.
- Mortimer, E., & Scott, P. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Buckingham: Open University Press.
- Msahazi, A.-Y. (2007). *Quelle place pour les activités expérimentales dans les pratiques de classe des enseignants de sciences physiques en collège et lycée ?* Mémoire de Master 2, Université de Provence, Marseille.
- Muller-Mirza, N. (2008). Préface. In C. Buty & C. Plantin (Dir.), *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage* (pp. 7-16). Lyon : INRP.
- Musset, M. (2009). Sciences en classe, sciences en société. *Dossier d'actualité n° 45*. Retrieved September, 30, 2009, from INRP Web site: <http://www.inrp.fr/vst/LettreVST/45-mai-2009.php>
- Newell, A., & Simon, H.-A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

- Noble, D., Bergeron, P., & Fontaine, D. (2005). *Vous avez dit innovant ? Lycée pilote de Jaunay-Clan entre contraintes et libertés*. Poitiers: Scéren.
- Normand, R. (2006). Les qualités de la recherche ou les enjeux du travail de la preuve en éducation. *Éducation et Sociétés*, 18, 73-91.
- Nowotny, H., Scott, P. & Gibbons, M. (2003). *Repenser la science*. Paris : Belin.
- Numa-Bocage, L. (2007). La médiation didactique : un concept pour penser les registres d'aide de l'enseignant. *Carrefours de l'éducation*, 23, 55-70.
- *Ogura, Y. (2006). *Graph of student attitude v student attainment*. National Institute for Educational Research: Tokyo.
- *Ohlsson, S. (1996). Learning to do and learning to understand: a lesson and a challenge for cognitive modeling. In P. Reiman & H. Spada (Eds.), *Learning in Humans and Machine* (pp. 37-62). Oxford: Pergamon Elsevier Science.
- Olsen, R.V., & Lie, S. (2006). Les évaluations internationales et la recherche en éducation : principaux objectifs et perspectives. *Revue Française de Pédagogie*, 157, 11-26.
- Omnès, R. (1975). Les nouvelles tâches de la commission Lagarrigue. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 579, 265-274.
- Omnès, R. (1977). La commission Lagarrigue. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 597, 3-6.
- Omnès, R., Blanc, J., Kahane, A., & Delacôte, G. (1977). 4^{ème} partie : bilan de la commission Lagarrigue. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 597, 111-169.
- Orange, C. (1998). Débats scientifiques dans la classe et espaces-problèmes. In *Actes du 2^e colloque international Recherches et formation des enseignants*, Grenoble: IUFM de l'académie de Grenoble.
- Orange, C. (2003). Apprentissages scientifiques, activités langagières et problématisation. In M. Jaubert, M. Rebière, & J.-P. Bernié (dir.), *Construction des connaissances et langage dans les disciplines d'enseignement*, actes du colloque pluridisciplinaire international. Bordeaux: IUFM d'Aquitaine, Université Bordeaux 2.
- Orange, C., & Plé, E. (2000). Les sciences de 2 à 10 ans. L'entrée dans la culture scientifique. *Aster*, 31, 1-8.
- *Ormerod, M.-B., & Duckworth, D. (1975). *Pupils' attitude to science*. Slough: NFER.
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079.
- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections*. The Nuffield Foundation.
- Ostermeier, C., Prenzel, M., & Duit, R. (2009). Improving Science and Mathematics Instruction: The SINUS Project as an example for reform as teacher professional development. *International Journal of Science Education*, 32(3), 303-327.
- Ozgur, S. (2004). *Analyse de la transposition didactique en Turquie : des institutions noosphériques à l'enseignant. L'enseignement de la digestion humaine au collège*. Thèse de doctorat, Université de Grenoble 1, Grenoble.
- Paget, D. (dir.). (2006). *Aventure commune et savoirs partagés*. Paris: Institut de recherches de la FSU.
- Paquay, L., Altet, M., Charlier, E., & Perrenoud, P. (Eds.) (1998). *Former des enseignants professionnels*. Paris : De Boeck.
- Paquay, L., Altet, M., Perrenoud, P., & Lessard, C. (dir.) (2008). *Conflit de savoirs en formation des enseignants. Entre savoirs issus de la recherche et savoirs issus de l'expérience*. Bruxelles : De Boeck.
- Park Rogers, M.A., & Abell, S.K. (2008). The design, enactment, and experience of inquiry-based instruction in undergraduate science education: a case study. *Science Education*, 92(4), 591-607.

- Perrenoud, P. (1984). *La fabrication de l'excellence scolaire : du curriculum aux pratiques d'évaluation*. Genève : Droz (2^{ème} édition augmentée en 1995).
- Perrenoud, P. (1994). Curriculum : le réel, le formel, le caché. In J. Houssaye (dir.), *La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui* (pp. 61-76). Paris : ESF.
- Perrenoud, P. (1998). La transposition didactique à partir des pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation*, 24(3), 487-514.
- Perret-Clermont, A.-N., Schubauer-Leoni, M.-L., & Trognon, A. (1992). Les processus d'extorsion de réponses en situation asymétrique, *Verbum*, 1-2. Nancy : Presses universitaires de Nancy.
- Peterfalvi, B., & Jacobi, D. (2003). Les interactions langagières entre processus et matériaux pour la recherche. *Aster*, 37, 3-15.
- Pinto, R. (2005). Introducing curriculum innovations en science: identifying teachers' transformations and the design of related teacher education. *Science Education*, 89(1), 1-12.
- *Pintrich, P.R., & Schrauben, B. (1992). Student's motivational beliefs and their cognitive engagement in classroom tasks. In J. Meece, & D. Schunk (Eds.), *Students perception in the classroom* (pp. 149-183). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- *Pintrich, P.R., & Schunk, D.H. (1996). *Motivation in education: theory, research and applications*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Polman, J.L., & Pea, R.D. (2001). Transformative communication as a cultural tool for guiding inquiry science. *Science Education*, 85(3), 223-238.
- Popper, K. (1973). *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot.
- Porlan, R., & Martin, J. (1994). Le savoir pratique des enseignants spécialisés - Apports des didactiques spécifiques. *Aster*, 19, 49-60.
- Porlan, R., & Rivero, A. (2001). Nature et organisation du savoir professionnel enseignant « souhaitable ». *Aster*, 32, 221-251.
- Porlan, R., Azcarate, P., & Martin del Pozo, R. (1998). Les champs de recherche professionnelle : une proposition pour former des enseignants. In A. Giordan, J.-L. Martinand, & D. Raichvarg, (Eds.), *Formation à la médiation et à l'enseignement. Enjeux, pratiques, acteurs. Actes des XX^e Journées Internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifique et industrielles* (pp. 95-99). Paris: LIREST.
- PNER (Programme de Numérisation pour l'Enseignement et la Recherche). (2002). *Étudier les usages pédagogiques des technologies de l'information et de la communication : une pratique de recherche ou/et de légitimation ? Étude n °3* (Rapport final). Lyon: Groupe de travail Méthodes et outils pour l'observation et l'analyse des usages.
- PROPHY (1990). Le diagramme objets-interactions. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 722, 353-373.
- *Psillos, D., & Niedderer, H. (Eds.) (2003). *Teaching and learning in the science laboratory*. Dordrecht: Kluwer.
- Quéré, Y., & Jasmin, D. (2005). Quand apprendre les sciences devient un jeu d'enfant. *Planète Science*, 3(3), 2-8.
- *Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, Approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- *Rabardel, P., & Vérillon, P. (1985). Relations aux objets et développement cognitifs. In A. Giordan et J.-L. Martinand (Eds.), *Actes des septièmes journées internationales sur l'éducation scientifique* (pp. 189-196). Paris: LIREST, Université Paris 7.
- Raisky, C. (1996). Doit-on en finir avec la transposition didactique ? In C. Raisky et M. Caillot (Eds.), *Au-delà des didactiques, le didactique. Débats autour de concepts fédérateurs* (pp. 37-60). Paris : De Boeck.
- Raulin, D. (2006). *Les programmes scolaires*. Paris : Retz.
- Ravanis, K. (1996). Stratégies d'interventions didactiques pour l'initiation des enfants de l'école maternelle aux sciences physiques. *Spirale*, 17, 161-176.

- Ravanis, K. (1998). Procédures didactiques de déstabilisation des représentations spontanées des élèves de 5 et 10 ans. Le cas de la formation des ombres. In A. Dumas Carré et A. Weil-Barais (Eds.), *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique* (pp. 105-121). Berne : Peter Lang.
- Ravanis, K. (2000). La construction de la connaissance physique à l'âge préscolaire : recherches sur les interventions et les interactions didactiques. *Aster*, 31, 71-94.
- Ravanis, K., & Bagakis, G. (1998). Science Education in kindergarten: sociocognitive perspective. *International Journal of Early Years Education*, 6(3), 315-327.
- Ravanis, K., Charalampopoulou, C., Boilevin, J.-M., & Bagakis, G. (2005). La construction de la formation des ombres chez la pensée des enfants de 5-6ans : procédures didactiques sociocognitives, *Spirale*. 36, 87-98.
- Reid, N. (2007). *Teaching and learning physics successfully. What does research evidence tell us?* In R. Jurdana-Šepić, V. Labinac, M. Žuvić-Butorac, & A. Sušac (Eds.), *Proceedings of the GIREP EPEC Conference Frontiers of Physics Education* (pp. 26-31). Opatija, Croatia.
- Reif, F. (1983). Understanding and teaching problem solving in Physics. In *Premier Atelier international de recherche en didactique de la physique à La Londe-les-Maures, Recherches en Didactique* (pp. 15-53).
- Rey, O. (2006). Qu'est-ce qu'une « bonne » recherche en éducation ? *La lettre d'information n°18*. Retrieved December, 12, 2006, from INRP Web site: <http://www.inrp.fr/vst/LettreVST/pdf/mai2006.pdf>
- Rey, O. (2008). De la transmission des savoirs à l'approche par compétences. *Dossier d'actualité n° 34*. Retrieved May, 07, 2008, from INRP Web site: http://www.inrp.fr/vst/LettreVST/pdf/34_avril2008.pdf
- Rey, O. (2010). Contenus et programmes scolaires : comment lire les réformes curriculaires ? *Dossier d'actualité n° 53*. Retrieved April, 30, 2010, from INRP Web site: <http://www.inrp.fr/vst/LettreVST/53-avril-2010.php>
- Rey, B., Caffieaux, C., Defrance, A., & Marcoux, G. (2005). L'articulation des savoirs et compétences dans l'enseignement secondaire. *Bulletin d'informations pédagogiques*, 57, 3-14.
- Richard, J.-F. (1990). *Les activités mentales. Comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris: Armand Colin.
- Richoux, H. (2000). *Rôles des expériences quantitatives dans l'enseignement de la physique au lycée*. Thèse de doctorat, Université Paris 7, Paris.
- Robardet, G. (1990). Enseigner les sciences physiques à partir des situations-problèmes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 720, 17-28.
- Robardet, G. (1995a). *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Robardet, G. (1995b). Situations-problèmes et modélisation ; l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique. *Didaskalia*, 7, 129-143.
- Robardet, G. (1997). Le jeu de résistors : une situation visant à ébranler des obstacles épistémologiques en électrocinétique. *Aster*, 24, 59-80.
- Robardet, G. (1998). La didactique dans la formation des professeurs de sciences physiques face aux représentations sur l'enseignement scientifique. *Aster*, 26, 31-58.
- Robardet, G. (2001). Quelle démarche expérimentale en classe de physique ? Notion de situation-problème. *Bulletin de l'Union de Physiciens*, 836, 1173-1190.
- Robardet, G., & Guillaud, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Robardet, G., & Vérin, A. (1998). L'enseignement scientifique vu par les enseignants. *Aster*, 26, 3-10.
- Roberts, D.A. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S.K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research in Science Education* (pp. 729-780). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Robine, F. (2009). Un renouveau de l'enseignement des sciences. *Revue internationale d'éducation*, 51, 27-34.
- Rochex, J.-Y. (coord.) (2006). PISA : analyses secondaires, questions et débats théoriques et méthodologiques. *Revue Française de Pédagogie*, 157, 5-9.
- Rochex, J.-Y. (2008). PISA et les enquêtes internationales. Enjeux scientifiques, enjeux politiques. *Revue Française de Pédagogie*, 164, 81-85.
- Rogalski, J., & Samurçay, R. (1994). Modélisation d'un « savoir de référence » et transposition didactique dans la formation de professionnels de haut niveau. In G. Arzac, Y. Chevillard, J.-L. Martinand, & A. Tiberghien (Eds.). *La transposition didactique à l'épreuve* (pp. 35-71). Grenoble: La pensée sauvage.
- Roletto, E. (1995). *La nature du savoir scientifique chez les enseignants*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier, Montpellier.
- Roletto, E. (1998). La science et les connaissances scientifiques : points de vue de futurs enseignants. *Aster*, 26, 11-30.
- Romanens, F., Salviat, B., Léna, P., Quéré, Y., & Pineau, A. (2007). Dans le sillage de La main à la pâte. Expérimentation, au collège, d'un enseignement intégré de science et technologie. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 896, 861-873.
- Rosenwald, F. (2006). Les filles et les garçons dans le système éducatif. *Note d'information 06.06*. Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance, Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.
- Roux, J.-P. (1997). Médiations sémiotiques et savoirs scolaires. *Skholé*, 7, 238-251.
- Roux, J.-P. (2003). Construction des connaissances et langage dans les disciplines d'enseignement : un colloque pluridisciplinaire réussi ou les remarques d'un témoin concerné. In M. Jaubert, M. Rebière, & J.-P. Bernié (dir.), *Construction des connaissances et langage dans les disciplines d'enseignement* actes du colloque pluridisciplinaire international. Bordeaux : IUFM d'Aquitaine, Université Bordeaux 2.
- Rudolph, J. (2005). Inquiry, instrumentalism, and the public understanding of science. *Science Education*, 89(5), 803-821.
- Ruel, F., Désautels, J., & Larochelle, M. (1997). Enseigner et apprendre les sciences : représentation sociales de futurs enseignants et enseignantes. *Didaskalia*, 10, 51-73.
- Russ, R.S., Scherr, R.E., Hammer, D., & Mikeska, J. (2008). Recognizing mechanistic reasoning in student scientific inquiry: a framework for discourse analysis developed from philosophy of science. *Science Education*, 92(3), 499-525.
- Ryder, J., & Leach, J. (1999). University science students' experiences of investigative project work and their images of science. *International Journal of Science Education*, 21(9), 945-956.
- Sachot, M. (1996). De la proclamation scripturaire au cours magistral. Histoire d'un modèle archétypal. In C. Raisky et M. Caillot, (Eds.), *Au-delà des didactiques, le didactique. Débats autour de concepts fédérateurs* (pp. 193-222). Bruxelles : De Boeck.
- Sadler, T.D., & Donnelly, L.A. (2006). Socioscientific argumentation: the effects of content knowledge and morality. *International Journal of Science Education*, 28(12), 1463-1488.
- Saint-Georges, M. (1996). *Formation des professeurs de sciences physiques par la didactique*. Thèse de doctorat, Université Paris 7, Paris.
- Saint-Georges, M. (2001). L'analyse des dialogues en classe : un outil pour une formation didactique des professeurs de sciences physiques. *Aster*, 32, 91-122.
- Saint-Georges, M., & Calmettes, B. (2003). Analyse des discours en classe de physique. Trois méthodes complémentaires. *Actes du colloque "Construction des connaissances et langages dans les disciplines d'enseignement"*. Bordeaux : Université de Bordeaux 2, IUFM d'Aquitaine.
- Saltiel, E. (2006). *Methodological guide. Inquiry-Based science education: applying it in the classroom*. Retrieved August, 10, 2008, from Consortium Pollen Web site: <http://www.pollen-europa.net>

- Sarmant, J.-P. (2001). Du questionnement à la connaissance en passant par l'expérience. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 830, 165-171.
- *Schibeci, R.A. (1984). Attitude to science: an update. *Studies in Science Education*, 11, 26-59.
- Schneeberger, P., & Triquet, A. (2001). Didactique et formation des enseignants. *Aster*, 32, 3-13.
- Schneider-Gilot, M. (2006). Quand le courant pédagogique « des compétences » empêche une structuration des enseignements autour de l'étude et de la classification de questions parentes. *Revue Française de Pédagogie*, 154, 85-96.
- *Schreiner, C., & Sjoberg, S. (2007). Science education and youth's identity construction – Two incompatible projects? In D. Corrigan, J. Dillon, & R. Gunstone (Eds.), *The re-emergence of values in the science curriculum* (pp. 231-247). Rotterdam: Sense Publishers.
- *Schwab, J. (1962). The teaching of science as enquiry. In *The teaching of science* (pp. 1-103). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Schwarz, C.V., & Gwekwerere, Y.N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Science Education*, 91(1), 158-186.
- Sensévy, G., & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble : Éléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves*. Rennes : Presses universitaires de Rennes.
- Sensévy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S., & Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92(3), 424-446.
- Séré, M.-G., Journeaux, R., & Winther, J. (1997). Enquête sur les objectifs des travaux pratiques dans les classes de seconde, de première S et de terminale S. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 796, 1377-1389.
- Séré, M.-G., Fernandez-Gonzalez, M., Gonzalez-Garcia, F., de Manuel, E., Gallegos, J., Perales, J., & Leach, J. (2001). Images of science linked to labwork: A survey of secondary school and university students. *Research in Science Education*, 31, 499-523.
- Séré, M.-G., Winther, J., Le Maréchal, J.-F., & Tiberghien, A. (2001). Le projet européen « Labwork in Science Education ». Les travaux pratiques dans l'enseignement des sciences en Europe : bilan et perspectives. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 839, 1727-1740.
- *Shulman, L.S. (1987). Knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- *Shulman, L.S. (1999). Forward. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- *Sjoberg, S., & Schreiner, C. (2005). How do learners in different cultures relate to science and technology? Results and perspectives from the project ROSE. *Asia Pacific Forum on science learning and teaching*, 6, 1-16.
- Simonneaux, L. (2010). Introduction des questions scientifiques socialement vives dans l'enseignement agricole français : implication des recherches en didactique dans la formation des enseignants. In A. Hasni, & J. Lebeaume (dir.), *Enjeux contemporains de l'éducation scientifique et technologique* (pp. 81-123). Ottawa : Presse de l'université d'Ottawa.
- Stengers, I. (1997). *Sciences et pouvoirs. La démocratie face à la technoscience*. Paris : La découverte.
- *Stylianidou, F., Ogborn, J., Andresen, O., Balzano, E., Giberti, G., Gutiérrez, R., Kolstø, S. D., Monroy, G., Pérez, O., Pintó, R., Quale, A., Rebmann, G., & Sassi, E. (2000). The nature of use by science teachers of informatic tools, STTIS (Science Teacher Training in an Information Society) Transversal Report on Work Package 1.2. European Commission DG XII - TSER: CT97 2020 (coord: R. Pintó, Universitat Autònoma de Barcelona), University of Sussex, Institute of Education, UK.
- Tang, X., Coffey, J.E., Elby, A., & Levin, D.M. (2010). The scientific method and scientific inquiry: tensions in teaching and learning. *Science Education*, 94(1), 29-47.

- Ternat, C.A. (2005). De la leçon de choses à la Main à la pâte. L'enseignement des sciences à l'école de la République (1887-2001). *Sur la Brèche*, 87-88, 1-58.
- Terrisse, A. (2001). La référence en question. In A. Terrisse (Ed.), *Didactique des disciplines. Les références au savoir* (pp. 8-16). Bruxelles : De Boeck.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instructions*, 4, 71-87.
- Tiberghien, A. (2008). Connaissances naïves et didactique de la physique. In J. Lautrey, S. Rémi-Giraud, E. Sander, & A. Tiberghien (Eds.), *Les connaissances naïves* (pp. 103-153). Paris: Armand Colin.
- Tiberghien, A., Arsac, G., & Méheut, M. (1994). Analyse de projets d'enseignement issus de recherches en didactique. In G. Arsac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand, & A. Tiberghien (Eds.), *La transposition didactique à l'épreuve* (pp. 105-133). Grenoble: La pensée sauvage.
- Tiberghien, A., & Malkoun. (2007). Différenciation des pratiques d'enseignement et acquisition des élèves du point de vue du savoir. *Éducation et Didactique*, 1, 29-54.
- Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., Souassy, N., & Mortimer, E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. In G. Sensévy & A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 73-98). Rennes : Presses universitaires de Rennes.
- Tochon, F.-V. (1989). Peut-on former les enseignants novices à la réflexion des experts ? *Recherche et formation*, 5, 25-37.
- Tochon, F.-V. (1992). A quoi pensent les chercheurs quand ils pensent aux enseignants ? *Revue Française de Pédagogie*, 99, 88-113.
- Tochon, F.-V. (1993). *L'enseignant expert*. Paris : Nathan.
- Toczek, M.-C., & Morge, L. (2007, 28-31 août). *Une gestion socioconstructive des interactions professeur-élèves en sciences physiques est-elle efficace ?* Paper presented at the Congrès International d'Actualité de la Recherche en Éducation et en Formation, Strasbourg.
- Toczek, M.-C., & Morge, L. (2009). Effects of Evaluative vs. Co-constructive Interactions on Learning in Physics. *European Journal of Psychology of Education*, 26(3), 325-333.
- Toix, L., Vince, J., & Tiberghien, A. (2005). Points de vue d'élèves de seconde sur les modèles et la modélisation en sciences physiques. *Actes des Quatrièmes Rencontres Scientifiques de l'ARDIST* (pp. 363-370). Lyon: ARDIST et INRP.
- Toplis, R. (2007). Evaluating science investigation at ages 14-16: dealing with anomalous results. *International Journal of Science Education*, 29(2), 127-150.
- Toussaint, J. (1995). La physique et son enseignement. In M. Develay (dir.), *Savoirs scolaires et didactiques des disciplines. Une encyclopédie pour aujourd'hui* (pp. 295-315). Paris : ESF.
- Toussaint, J. (Ed.). (1996). *Didactique appliquée de la physique chimie*. Paris : Nathan.
- Tozzi, M. (1997). Didactique et politique. Une problématique à nouer entre acteurs. *Cahiers pédagogiques*, 336, 350-351.
- Trousseau, A. (1992). *De l'artisan à l'expert. La formation des enseignants en question*. Paris : Hachette.
- Trumbull, D.J., Bonney, R., & Grudens-Schuck, N. (2005). Developing materials to promote inquiry: Lessons learned. *Science Education*, 89(6), 879-900.
- *Tuan, H-L., Chin, C-C. & Shieh, S-H. (2005). The development of a questionnaire to measure students' motivation towards science learning. *International Journal of Science Education*, 27(6), 639-654
- Université Bordeaux 1. (2003, février). Améliorer et adapter l'enseignement : les nouvelles stratégies d'apprentissage, la situation des différents champs disciplinaires. *Actes du Colloque National sur les Études Scientifiques Universitaires*. Retrieved February, 13, 2007, from Université Bordeaux 1 Web site: <http://www.u-bordeaux1.fr/Colloque-Sciences/>

- Université de Poitiers (2000, juillet). *Évolution des effectifs dans les filières scientifiques : constats, analyses, perspectives*. Actes de l'université d'été de Poitiers, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées. Retrieved February, 12, 2007, from Université Poitiers Web site: <http://uptv.univ-poitiers.fr/web/canal/62/theme/30/manif/14/index.html>
- Vander Borght, C. (2002). Trois questions à la recherche en didactique des sciences. *Les Dossiers des Sciences de l'Éducation*, 26, 129-133.
- Van Zee, E.H., Hammer, D., Roy, M.B.P., & Peter, J. (2005). Learning and teaching science as inquiry: a case study of elementary school teachers' investigations of light. *Science Education*, 89(6), 1007-1042.
- *Vasquez Alonso, A., & Manassero Mas, M.-A. (1995). Response and scoring models for the View on Science-Technology-Society. *International Journal of Science Education*, 21(3), 231-247.
- Venturini, P. (2004). Attitudes des élèves envers les sciences : le point des recherches. *Revue Française de Pédagogie*, 149, 97-121.
- Venturini, P. (2005). Rapports idéal-typiques à la physique d'élèves de l'enseignement secondaire. *Didaskalia*, 26, 9-32.
- Venturini, P. (2006). *L'implication de l'élève dans l'apprentissage de la physique : l'apport du rapport au savoir*. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Paris 5, Paris.
- Venturini, P. (2007). L'implication des élèves à apprendre la physique. *Actes des 55èmes journées nationales de l'Union des Professeurs de Physique-Chimie*. Retrieved February, 21, 2008, from Udppc Web site: http://udppc.asso.fr/paris2007/docactes/2007/113_12032008020006.pdf
- Venturini, P., & Albe, V. (2002a). Interprétation des similitudes et différences dans la maîtrise conceptuelle d'étudiants en électromagnétisme à partir de leur(s) rapport(s) au(x) savoir(s). *Aster*, 36, 165-188.
- Venturini, P., & Albe, V. (2002b). Rapports à la physique d'étudiants issus d'un DEUG Sciences de la matière. *Dossiers des Sciences de l'Éducation « Didactique des disciplines scientifiques et technologiques : concepts et méthodes »*, 8, 11-22.
- Venturini, P., Amade-Escot, C., & Terrisse, A. (2002) (dir.). *Analyse des pratiques effectives, l'approche des didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- *Vergnaud, G. (1995). Quelle théorie pour comprendre les relations entre savoir-faire et savoir ? In A. Bentolila (dir.), *Savoirs et savoir-faire* (pp. 5-20). Paris : Nathan.
- Vernant, D. (1997). *Du discours à l'action. Formes sémiotiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Verret, M. (1975). *Le temps des études*. Paris : Honoré Champion.
- Viau, R. (2003). *La motivation en contexte scolaire*. Bruxelles : De Boeck.
- Viennot, L. (1989). Bilans de forces et loi des actions réciproques. Analyse des difficultés des élèves et enjeux didactiques. *Bulletin de l'Union de Physiciens*, 716, 951-971.
- Viennot, L. (1996). *Raisonner en physique. La part du sens commun*. Bruxelles : De Boeck.
- Vinatier, I. (2007, août). *Un dispositif de « co-explicitation » avec chercheur et maîtres formateurs ; la conceptualisation de l'activité de conseil*. Paper presented at the Congrès International d'Actualité de la Recherche en Éducation et en Formation, Strasbourg.
- Vinatier, I., & Altet, M. (dir.). (2008). *Analyser et comprendre la pratique enseignante*. Rennes : Presses universitaires de Rennes.
- Vlassis, J., De Landsheere, V., & Mélon, C. (2002). L'enseignement des sciences par énigmes scientifiques : les enseignants se posent des questions. *Cahiers du Service de Pédagogie expérimentale - Université de Liège*, 9-10, 169-175.
- Von Aufschnaiter, C., Erduran, S., Osborne, J., & Simon, S. (2008). Arguing to learn and learning to argue: case studie of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 101-131.

- Vygotski, L.-S. (1985). *Pensée et langage*. Paris : Éditions Sociales.
- Walliser, B. (1977). *Systèmes et modèles*. Paris : Le Seuil.
- Weil-Barais, A. (1993). *L'homme cognitif*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Weil-Barais, A. (1994). Les apprentissages en sciences physiques. In G. Vergnaud (Ed), *Apprentissages et didactique, où en est-on ?* (pp. 103-126). Paris : Hachette.
- Weil-Barais, A. (1997a). De la recherche sur la modélisation à la formation des professeurs de physique : comment s'opère la transition ? *Skholé*, 7, 141-155.
- Weil-Barais, A. (1997b). *Interactions didactiques et formation des enseignants*. Rapport d'activité LIREST 1993-1997 (pp. 50-58). Cachan : ENS.
- Weil-Barais, A., & Dumas-Carré, A. (1994). *Essais d'objectivation et de transformation des pratiques médiatrices des enseignants dans l'éducation scientifique*. Rapport à mi parcours. Paris : Université Paris 7, LIREST – GDSE P7.
- Weil-Barais, A., & Dumas-Carré, A. (1995). *Essais d'objectivation et de transformation des pratiques médiatrices des enseignants dans l'éducation scientifique*. Rapport final. Paris : Université Paris 7, LIREST – GDSE P7.
- Weil-Barais, A., & Dumas-Carré, A. (1998). Les interactions didactiques : tutelle et / ou médiation ? In A. Dumas-Carré, & A. Weil-Barais (Eds.), *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique* (pp. 1-15). Berne : Peter Lang.
- Weil-Barais, A., & Goffard, M. (2005). Introduction. In M. Goffard, & A. Weil-Barais (dir.), *Enseigner et apprendre les sciences. Recherches et pratiques* (pp. 13-18). Paris : Armand Colin.
- Weil-Barais, A., & Lemeignan, G. (1994). Approche développementale de l'enseignement et de l'apprentissage de la modélisation. In J.-L. Martinand et al. (Eds.), *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 85-113). Paris : INRP.
- Wertsch, J. V. (1991) *Voices of the Mind: a sociocultural approach to mediated action*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: what can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), 112-143.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 87(1), 112-143.
- Winykamen, F. (1998). Approche psychologique de la tutelle. In A. Dumas-Carré, & A. Weil-Barais, (Eds.), *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique* (pp. 29-58). Berne : Peter Lang.
- Wood, N., Lawrenz, F., & Haroldson, R. (2009). A judicial presentation of evidence of a student culture of dealing. *Journal of Research in Science Education*, 46(4), 421-441.
- Wu, H.K., & Hsieh, C.E. (2006). Developing sixth graders' inquiry skills to construct explanations in inquiry-based learning environments. *International Journal of Science Education*, 28(11), 1289-1313.
- Zacharia, Z. (2003). Beliefs, attitudes and intentions of science teachers regarding the educational use of computer simulations and inquiry-based experiments in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(8), 792-823.
- Zmyrnaïou, Z., & Weil-Barais, A. (2005). Évaluation cognitive d'un logiciel de modélisation auprès d'élèves de collège. *Didaskalia*, 27, 133-149.

Textes et rapports d'origine institutionnelle

- Académie des sciences. *Avis de l'Académie des sciences sur l'enseignement scientifique et technique dans la scolarité obligatoire ; école et collège.* (2004).
- Académie des sciences. (2005). *Recommandations communes de l'Académie des sciences et de l'académie des technologies.*
- Académie des sciences. (2006). *Déclaration sur l'enseignement.*
- Académie des sciences. (2007). Comment réussir sa première année à l'université dans le domaine des sciences. *Rapport de l'Académie des sciences à Madame la Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.* Groupe de Travail Réforme de l'Enseignement Supérieur en France dans le domaine des sciences.
- Académie des sciences. (2008). *Réflexions sur l'enseignement des sciences au lycée.* Rapport d'étape. Comité sur l'enseignement des sciences de l'Académie des sciences.
- Ajchenbaum-Boffety, B. (coord.). (2004). *Sciences à l'école : quelle histoire ! Livret de l'exposition.* Académie des sciences, en partenariat avec la Conférence des directeurs des instituts universitaires de formation des maîtres et l'Institut national de recherche pédagogique.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1989). *Science for All Americans. Project 2061.* New York: Oxford University Press.
- Bach, J.-F. (2004). *Groupe de relecture des programmes du collège. Pôle des sciences.* Ministère de la Jeunesse, de l'Éducation Nationale et de la Recherche.
- Bergé, P. (1989). *Rapport de la mission de réflexion sur l'enseignement de la physique à l'attention de M. le Ministre de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des sports.* « Perspectives d'avenir ».
- Blandin, M.-C., & Renar, Y. (2003). *Rapport d'information de la mission d'information chargée d'étudier la diffusion de la culture scientifique.* Commission des Affaires Culturelles. *Rapport n°392*, Sénat.
- Bordon, E. (2004). *Regards sur les métiers scientifiques et techniques. Enquête auprès de collégiens et lycéens isérois.* Grenoble: CCSTI.
- Bransford, J.D., & Donovan, M.S. (2005). Science inquiry and How People Learn. In National Research Council, *How students learn: History, Mathematics, and Science in the classroom* (pp. 397-419). Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- Charvet, J. (2004). *Les jeunes et les études scientifiques dans l'académie d'Orléans-Tours.* Rapport remis au Recteur de l'académie d'Orléans-Tours.
- Conseil Régional Nord Pas de Calais. (2005, novembre). Colloque "La crise mondiale des sciences". Retrieved December, 12, 2006, from http://sfp.in2p3.fr/CP/Jeunes/Lille_Crise_Science_28-29Nov05.pdf
- Demailly, J.-P. (2001). *Rapport sur l'enseignement des sciences et sur l'environnement de travail des enseignants et enseignants-chercheurs.* Rapport aux Ministres de l'Éducation Nationale et de la Recherche.
- Dercourt, J. (2004). *Les flux d'étudiants susceptibles d'accéder aux carrières de recherche. L'exemple de l'île de France dans le cadre national.* Rapport de l'Académie des sciences.
- Eurobaromètre (2001). Les Européens, la science et la technologie. *Spécial 154.* Bruxelles: Commission Européenne Direction Générale de la Recherche.
- Eurobaromètre (2005). Social values, Science and technology. *Spécial 225.* Bruxelles: Commission Européenne Direction Générale de la Recherche.
- Eurobaromètre (2008). *Étude qualitative sur l'image de la science et la politique de recherche de l'Union européenne.* Bruxelles: Commission Européenne Direction Générale de la Recherche.

- Eurobaromètre (2008). Les jeunes et la science. *Flash 239*. Bruxelles: Commission Européenne Direction Générale de la Recherche.
- Eurobaromètre (2010). Science and technology. *Spécial 340*. Bruxelles: Commission Européenne Direction Générale de la Recherche.
- EURYDICE. (2006). *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. États des lieux des politiques et de la recherche*. Bruxelles: Commission Européenne. Direction Générale de l'Éducation et de la Culture.
- Guichard, O. (1971) Allocution d'ouverture des travaux de la Commission Lagarrigue. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 537, 1113-1117.
- Hamelin, E. (2003). *Développement et diffusion de la culture scientifique et technique. Un enjeu national*. Rapport établi à la demande du Premier Ministre.
- Harlen, W. (2004). *Evaluating inquiry-based developments*. Retrieved February, 13, 2010, from National Academy of Sciences Web site: http://www.nsrconline.org/pdf/NAS_paper_eval_inquiry_science.pdf
- Harlen, W., & Allende, J.E. (2009b). *Pour une pédagogie d'investigation dans l'enseignement scientifique. Une synthèse à l'usage du monde de l'éducation*. Retrieved May, 13, 2010, from InterAcadmy Panel Web site : <http://www.interacademies.net/CMS/Programmes/3123.aspx>
- Haut Conseil de la Science et de la Technologie. (2007). *Avis sur la désaffectation des jeunes pour les études scientifiques supérieures*.
- High Level Group on Increasing human resources for science and technology in Europe. (2004). *Europe needs more scientists*. Retrieved February, 13, 2007, from European Commission Web site: http://ec.europa.eu/research/conferences/2004/sciprof/pdf/final_en.pdf
- High Level Group on Science Education. (2007). *Science Education now: a renewed pedagogy for the future of Europe*. Brussels: EC Directorate for Research (Science, Economy and Society).
- Inspection Générale de l'Éducation Nationale. (1996). *La place de l'expérimental dans l'enseignement de la physique et de la chimie*. Groupe de physique-chimie – Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie.
- Inspection Générale de l'Éducation Nationale. (1997). *Le T.P., leur mise en œuvre et leur évaluation*. Groupe de physique-chimie – Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie.
- Inspection Générale de l'Éducation Nationale. (2001). *L'enseignement des sciences et de la technologie à l'école primaire*. Groupe de l'enseignement primaire – Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie.
- Inspection Générale de l'Éducation Nationale – Groupe des sciences physiques et chimiques, fondamentales et appliquées. (2006). *L'enseignement de la physique et de la chimie au collège. Rapport n°2006-091*. Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.
- Inspection Générale de l'Éducation Nationale. (2007). *La série scientifique au cycle terminal du lycée : articulation avec le cycle de détermination et orientation vers les études supérieures. Rapport n°2007-090*. Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.
- Loarer, C. (2002). La rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école primaire. *Rapport à Monsieur le ministre de l'Éducation nationale*. Retrieved March, 13, 2007, from INRP Web site: http://lamap.inrp.fr/bdd_image/108_407_ep-renovscitech.pdf
- Mathey, P. (1989). *Rapport de la mission de réflexion sur l'enseignement de la chimie à l'attention de M. le Ministre de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des sports*.
- Ministère de la Jeunesse, de l'Éducation nationale et de la Recherche. Direction de l'enseignement scolaire, Académie des sciences – La main à la pâte. (2002). *Enseigner les sciences à l'école*. Document d'accompagnement des programmes. Collection École, CNDP.

- Ministère de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie (2004). *Les attitudes des enseignants vis-à-vis des technologies de l'information et de la communication dans les premier et second degrés*.
- Minstrell, J., & Kraus, P. (2005). Guided inquiry in the Science classroom. In National Research Council, *How students learn: History, Mathematics, and Science in the classroom* (pp. 475-513). Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council (NRC). (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council (NRC). (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council (NRC). (2005). *How students learn: History, Mathematics, and Science in the classroom*. Committee on How people learn, A targeted report for teachers, M.S. Donovan and J.D. Bransford (Eds). Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- NESTA. (2005). Real science. Encouraging experimentation and investigation in school science learning. Retrieved February, 20, 2008, from NESTA Web site: <http://www.nesta.org.uk/real-science-pub/>
- Observatoire de l'emploi scientifique. (2007). *L'état des lieux de l'emploi scientifique en France*. Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la recherche.
- *Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (1999). *Measuring students knowledge and skills*. OECD Program for International student assessment (PISA). Paris: OCDE.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2005). *Conference on declining interest in sciences studies among young people*. Forum mondial de la science. Amsterdam. Retrieved October, 27, 2006, from <http://www.caos.nl/ocw/programme.html>
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2006a). *Évolution de l'intérêt des jeunes pour les études scientifiques et technologiques*. Rapport d'orientation. Coopération scientifique internationale (Forum mondial de la science). Retrieved February, 25, 2007, from OCDE Web site: <http://www.oecd.org/dataoecd/60/24/37038273.pdf>
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2006b). *Compétences en sciences, lecture et mathématiques. Le cadre d'évaluation de PISA 2006*. Retrieved February, 25, 2008, from OCDE Web site: <http://www.pisa.oecd.org/dataoecd/60/59/38378898.pdf>
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2007a). *Knowledge Management, Evidence in Education: linking research and policy*. CERI, Direction de l'Éducation. Paris: OCDE.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2007b). *PISA 2006. Les compétences en sciences, un atout pour réussir*. Volume 1 – Analyse des résultats. Retrieved February, 25, 2007, from OCDE Web site: <http://www.pisa.oecd.org/dataoecd/10/45/39777163.pdf>
- Organisation de coopération et de développement économiques OCDE (2007c). *Regards sur l'éducation : les indicateurs de l'OCDE*. Paris: OCDE.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2008). *Encouraging student interest in science and technology studies: global science forum*. Direction de la Science, de la technologie et de l'industrie. Paris: OCDE.
- Ourisson, G. (2002). *Désaffection des étudiants pour les études scientifiques*. Ministère de l'Éducation Nationale.
- Porcher, M. (2002). *Les jeunes et les études scientifiques : les raisons de la « désaffection » - un plan d'actions*. Rapport à l'attention de M. le Ministre de l'Éducation Nationale et de la Recherche.
- Porcher, M. (2003). *Attrait et qualité des études scientifiques et universitaires*. Rapport à l'attention de M. le Ministre de la Jeunesse, de l'Éducation Nationale et de la Recherche.

- Porcher, M. (2004). *Les innovations pédagogiques à l'université*. Rapport à l'attention de M. le Ministre de la Jeunesse, de l'Éducation Nationale et de la Recherche.
- Prost, A. (2001). *Pour un programme stratégique de recherche en éducation*. Rapport remis à MM. les ministres de l'Éducation nationale et de la Recherche.
- Roberts, Sir G. (2002). *SET for success. The supply of people with science, technology, engineering and mathematics skills*. London: HM Treasury. Retrieved December, 12, 2006, from the National Archives Web site:
http://www.hmtreasury.gov.uk/documents/enterprise_and_productivity/research_and_enterprise/ent_res_roberts.cfm
- Rolland, J.-M. (2006). *L'enseignement des disciplines scientifiques dans le primaire et le secondaire*. Rapport d'information. Commission des affaires culturelles, familiales et sociales. Assemblée Nationale.
- Sarmant, J.-P. (1999). Rapport sur l'opération La main à la pâte, l'enseignement des sciences à l'école primaire. *Rapport à monsieur le ministre de l'Éducation nationale*. Retrieved March, 10, 2007, from La main à la pâte Web site:
http://lamap.inrp.fr/?Page_Id=77&Element_Id=409&Referrer_Id=13
- Sarmant, J.-P. (2004). *Tout se joue avant la troisième*. Retrieved December, 12, 2006, from Académie d'Amiens Web site:
http://www.ac-amiens.fr/pedagogie/associations/udppc/IMG/pdf/tout_se_joue_avant_la_3.pdf
- UNESCO. (2007, octobre). *Table ronde ministérielle sur la science et la technologie au service du développement durable et le rôle de l'UNESCO*. 34^{ème} session de la Conférence générale de l'UNESCO. Paris. Retrieved April, 13, 2008, from UNESCO Web site:
http://portal.unesco.org/science/fr/ev.phpURL_ID=6022&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html
- Walport, M. (2010). *Science and Mathematics Secondary Education for the 21st Century*. Report of the Science and Learning Expert Group.
- Working Group "Increasing participation in Maths, Sciences and Technology". (2003). *Progress report*. Novembre 2003. European Commission. Directorate-General for Education and Culture. Retrieved October, 13, 2007, from European Commission Web site:
http://ec.europa.eu/education/policies/2010/doc/math_sci_en.pdf
- Working Group D "Increasing participation in Maths, Sciences and Technology". (2004). *Progress report*. Décembre 2004. European Commission. Directorate-General for Education and Culture. Retrieved October, 13, 2007, from European Commission Web site:
<http://ec.europa.eu/education/policies/2010/doc/math2004.pdf>

Index des auteurs cités

A

AAAS · 169
Abd-El-Khalick · 32, 87
Abell · 169, 170, 172, 195
Abrahams · 44, 46
Abrams · 170, 171, 195
Académie des sciences · 39, 40, 121, 181
Académie des technologies · 181
Ajchenbaum-Boffety · 177
Akkus · 173
Albe · 14, 15, 32, 41, 42, 43, 162
Allende · 180
Alluin · 165
Altet · 88, 101, 102, 192, 206
Amade-Escot · 101
Amigues · 65, 70, 75
Andreucci · 75
Arsac · 22
Astolfi · 11, 12, 13, 43, 59, 89, 184
Audigier · 62
Aumont · 65
Auric · 47
Azcarate · 87

B

Bacconnier · 101, 206
Bach · 38, 180, 181
Bachelard · 31, 44, 47, 49, 59, 61
Badreddine · 84, 85, 86, 204, 205
Bagakis · 70, 80
Baillé · 15
Balpe · 34
Barma · 42
Baron · 75
Baudelot · 159
Bautier · 161
Beaud · 128
Beaufils · 13, 44, 48
Bécu-Robinault · 47, 86, 205
Bédoué · 129, 136
Beney · 45
Bennett · 43
Bensaude-Vincent · 150
Beorchia · 16, 136, 177, 197
Bergé · 37, 38
Bergeron · 7
Bernié · 70
Bernstein · 192
Besson · 8
Biermans · 128
Blanc · 35

Blanchard · 175, 176, 196
Blandin · 121
Blondel · 48
Boilevin · 8, 16, 47, 48, 51, 53, 58, 61, 69, 72, 74, 88, 91, 95, 136, 162, 177, 185, 186, 187, 189, 191, 195, 196, 197, 212, 213, 214, 217
Bonney · 170
Bordon · 163
Bouda · 85
Bourdieu · 26
Bourdoncle · 88
Bourny · 123
Boy · 147, 148, 149, 152, 163
Boyer · 151
Braaten · 173
Brandt-Pomares · 24, 69, 74, 78, 177, 191, 196, 213, 214, 217
Bransford · 172
Brénasin · 43
Brickhouse · 15
Brochet · 7
Bronckart · 24, 25, 26, 86, 205
Brousseau · 59, 75, 186
Brown · 174
Bruillard · 75
Bruner · 66
Bryan · 173, 196
Buty · 15, 43, 48, 84, 85, 86, 101, 204, 205, 206
Buxton · 176

C

Caffieaux · 62
Caillot · 13, 14, 23, 50, 53, 70, 161
Calmettes · 83, 185, 193, 196, 197, 204, 213
Campos · 170, 171
Canguilhem · 123
Cardi · 123
Carmona-Magnaldi · 49
Carter · 43
Cartwright · 31
Castagna · 8
Cavet · 15, 43
Century · 170
Chakroun · 101
Chalmers · 31
Chambaud · 123
Chapelle · 15
Charalampopoulou · 70
Charlier · 101
Charlot · 14, 161
Charpak · 178, 179, 181
Chartrain · 14

Charvet · 118
Chase · 176, 196, 213
Chastrette · 150
Chatillon · 7
Cheneval-Armand · 25, 28
Cheng · 176
Chervel · 23
Chevallard · 12, 14, 21, 22, 23, 25, 27, 162
Chevigny · 33, 135
Chi · 50
Chin · 145
Chomat · 47
Clark · 170
Clément · 70
Clémentine · 47
Coelho · 45
Coffey · 173
Coince · 47, 48
Coll · 176, 196, 213
Collins · 130
Conne · 26
Conseil Régional Nord Pas de Calais · 113
Convert · 127, 128, 129, 137, 149, 207
Coquidé · 43, 48, 83, 84, 184, 195
Cornu · 63
Cousin · 35
Crahay · 62
Crawford · 173, 196, 213

D

Daniels · 192
Darot · 12
Davous · 8
de Cheveigné · 148
De Feraudy · 140
de Hosson · 58, 183
De Jong · 128
De Landsheere · 172
De Peretti · 34
De Vecchi · 49
Defrance · 62
Delacôte · 35
Deleuze · 59, 61
Delfosse · 172
Delsieries · 177, 185, 187, 191, 217
Demailly · 117
Dercourt · 120
Désautels · 162
Develay · 11, 12, 14, 25, 27, 28, 96, 202
Dewey · 49, 59, 61, 184
Dillon · 132, 133, 134, 153

Dirand · 35
Dollo · 22
Donnelly · 43
Donnelly · 15
Donovan · 172
Douaire · 15, 43
Driver · 43, 147
Drouin · 8, 47
Duckworth · 130
Duda · 38
Duggan · 42
Duit · 13, 14, 15, 19, 22, 41, 87,
112
Dumas-Carré · 10, 48, 49, 50, 53,
61, 62, 63, 64, 65, 68, 69, 72,
80, 82, 90, 91, 189, 190
Dumon · 150, 178
Dupin · 8, 12, 14, 15, 19, 21, 27,
31, 32, 34, 35, 44, 45, 47, 49,
59, 61, 62, 63, 64, 70, 84, 136,
152, 205
Dupriez · 15
Duval · 140
Duverney · 118

E

Eastes · 151
Eick · 173, 196
El Bilani · 48
Elby · 173
Engeström · 192
Erduran · 43
Establet · 159
Eurobaromètre · 112, 148, 149
Eurydice · 33, 62, 169, 171, 174,
203, 215, 216

F

Fabre · 48, 49, 59, 60, 61, 203
Fauque · 34, 35, 36
Feltovich · 50
Feyerabend · 31
Feyfant · 101, 102, 103, 207
Filliettaz · 84, 85, 205
Fillon · 26, 70, 95, 100
Flammang · 172, 175, 196
Fontaine · 7
Forget · 172, 175, 196
Forquin · 28
Fortin · 184
Fourcade · 129
Fourez · 31, 41, 135, 152
François · 65
Fréchengues · 22
Frey · 123
Fumel · 123
Furio-Mas · 50
Furtak · 173, 196, 213

G

Gagné · 162
Gaidioz · 48, 147
Gardner · 154
Garnier · 150, 152
Gauthier · 62, 150, 152, 203
Gengareilly · 170, 171, 195
Gibbons · 32
Gibson · 176, 196, 213
Gié · 37
Gilly · 54, 70, 85
Gil-Pérez · 50, 59
Ginestié · 24, 28, 75, 84, 197, 204,
214
Ginsburger-Vogel · 12
Giordan · 33, 42, 135, 136, 150,
152
Girault · 42
Giret · 129
Givry · 86, 177, 191, 205, 217
Glaser · 50
Goffard · 14, 15, 16, 36, 44, 45, 46,
49, 50, 52, 54, 60, 73, 100, 189,
190, 216
Gomatos · 53
Goodwin · 86
Gott · 42
Granger · 175
Grenon · 74
GRID · 130, 131, 132
Griggs · 47
Gropengiesser · 15
Groupe interuniversitaire projet
Sophia · 134, 193
Grudens-Schuck · 170
Gueudet · 170, 171
Gugenheim · 128
Guichard · 35
Guilbert · 42, 162
Guillaud · 31, 47
Gunel · 173
Gwekwerere · 174
Gyllenpalm · 171, 174, 195, 196,
213

H

Haas · 127
Habermas · 32
Hacking · 31, 183
Hadji · 15
Haefner · 174
Halbwachs · 8, 22, 31, 47
Halté · 12
Hamelin · 123
Hammer · 174, 176
Hand · 173
Harfi · 127, 137, 207
Harlen · 170, 176, 180
Haroldson · 133

Hasni · 21, 33, 62, 203, 217
Haste · 153
Häussler · 152, 153
Haut Conseil de la Science et de la
Technologie · 124, 125, 137
High Level Group on Increasing
Human Resources for Science
and Technology · 111, 130
High Level Group on Science
Education · 111
Hiolle · 147
Hodson · 42, 46
Hoffman · 153
Hofstein · 46, 170, 176, 196
Hogarth · 43
Holbrook · 175, 196
Holmgren · 171
Hong · 176
Host · 47
Howes · 170, 171
Hsieh · 176, 196
Hulin · 34, 35, 36, 37, 50, 151, 165
Hume · 176, 196, 213

I

Impériali · 126
Inspection générale · 40, 44, 118,
120, 164, 180
Iturbe-Barrenetxea · 50

J

Jacobi · 70, 84
Jasmin · 179
Jenkins · 43
Jewitt · 86
Johsua · 8, 12, 15, 19, 21, 22, 24,
27, 28, 31, 32, 34, 35, 44, 45,
47, 49, 59, 61, 63, 64, 70, 84,
201, 205
Jones · 173, 196
Jonnaert · 12, 26, 76
Jorde · 170, 171, 195
Journeaux · 45
Jurist Levy · 170

K

Kahane · 35
Kahn · 178
Kalali · 123
Kaminski · 47
Kattmann · 15
Kermen · 21
Ketterer · 128
Keys · 173, 196
Kipnis · 176
Kolodner · 175, 196

Koulaidis · 43
Kraus · 172
Kress · 86, 205
Kuhn · 31

L

Lagarrigue · 35, 36
Lang · 88
Larcher · 42, 43, 44, 47, 60, 184
Larochelle · 162
Larose · 74
Latour · 25, 32
Laubé · 47
Laudan · 183
Laugier · 178, 184
Lautrey · 19
Lawrenz · 133
Lazerges · 34
Le Maréchal · 48
Leach · 15, 43, 87, 147, 162
Lebeaume · 33, 42, 43, 62, 177, 203
Lebrun · 140
Lederman · 32, 87, 171
Lee · 176
Lefour · 123
Lemaire · 126, 163
Lemeignan · 47, 53, 64, 80
Léna · 37, 40, 166, 178, 179, 181
Lenoir · 33, 62, 67, 68, 101, 206
Leontiev · 75
Leplat · 26
Leroy · 176
Leseur · 126
Lesne · 100
Lessard · 101
Levin · 173
Lévy-Leblond · 36
Lewis · 15, 43, 176
Lie · 142
Liège · 7
Liénard · 42
Lim · 170, 171
Lin · 176, 196
Linn · 170
Liouliou · 114
Lipowski · 175
Lixi · 126
Loarer · 180
Longo · 150
Loumouamou · 22
Lubben · 43
Luft · 173, 196
Lund · 86, 205
Lunetta · 46, 170
Luria · 75

M

Magneron · 42
Magrefi · 130
Mairone · 14
Malkoun · 84, 85, 86, 204, 205
Mamlok-Naaman · 176
Manassero Mas · 147
Mangez · 42
Marck · 35
Marcou · 62
Marinacci · 150
Martin · 87, 133, 217
Martin del Pozo · 87
Martinand · 8, 12, 14, 16, 22, 23, 28, 47
Martinez-Torregrossa · 50
Marx · 176
Matalon · 32
Mathé · 183, 195, 196, 212
Mathey · 38
Mathy · 60
Matthews · 42
Maurel · 120
Méheut · 14, 15, 16, 19, 22, 45, 46, 48, 58, 61, 77, 87, 102, 152, 153, 161, 183, 203, 216
Melear · 174
Meloche · 162
Mélon · 172
Mercier · 84, 101, 204, 206
Mesnier · 65
Meunier · 62, 203
Meyer · 59, 61
Mikeska · 176
Millar · 15, 43, 44, 147, 170, 175, 195
ministère de l'éducation nationale · 180
Minner · 170, 171, 176, 195, 196, 213
Minstrell · 85, 172
Moebius · 130
Monnier · 123
Mons · 159
Montpiéd · 48, 147, 153
Morge · 16, 83, 87, 88, 101, 177, 185, 187, 188, 189, 195, 196, 204, 206, 212, 213
Mortimer · 62, 85
Moulet · 129
Msahazi · 166
Muller Mirza · 15, 43
Munès · 7
Musset · 120, 128
Muxel · 148

N

Navon · 176
NESTA · 172

Newell · 49
Newton · 43
Niedderer · 75
Noble · 7
Normand · 15
Nowotny · 32
NRC · 169, 170
Numa-Bocage · 83

O

OCDE · 15, 41, 108, 123, 127, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 166
Ogborn · 86
Ogura · 133, 241
Ohlsson · 85
Olsen · 142
Omnès · 35
Orange · 59, 70, 178
Ormerod · 130
Osborne · 15, 43, 130, 132, 133, 134, 146, 147, 150, 151, 152, 153, 154, 159, 161, 167, 211
Ostermeier · 112, 175
Ourisson · 115, 118, 122
Ozgur · 22

P

Paget · 62, 203
Palm · 74
Paquay · 101, 206
Park Rogers · 169, 170, 172, 195
Pea · 173
Perrenoud · 22, 25, 26, 27, 28, 29, 62, 101, 202
Perret-Clermont · 65
Peter · 174
Peterfalvi · 59, 60, 70, 84, 184
Pineau · 181
Pinto · 77
Pintrich · 145
Plantin · 15, 43
Plazaola Giger · 24, 25, 26
Plé · 178
PNER · 74
Polman · 173
Popper · 31, 49, 59
Porcher · 115, 118, 122
Porlan · 87, 88, 100
Prenzel · 112
Prigogine · 31
PROPHY · 50
PROPHY, 1990 · 47
Prost · 15
Psillos · 45

Q

Quéré · 178, 179, 181

R

Rabardel · 78
Raisky · 24
Ramage · 48
Ranucci · 74
Ratcliffe · 15
Raulin · 62, 203
Ravanis · 16, 70, 80, 82, 136
Reid · 42
Reif · 50
Rémi-Giraud · 19
Renar · 121
Rey · 15, 28, 42, 62, 203
Reyes-Martin · 50
Richard · 49
Richoux · 22, 45, 48
Rivero · 100
Robardet · 31, 47, 55, 57, 58, 87,
95, 96, 97, 162
Roberts · 112
Robine · 142
Rocher · 123
Rochex · 159, 161
Roeleveld · 128
Rogalski · 24
Roletto · 162
Rolland · 122
Romanens · 181
Rosenwald · 126
Roth · 86
Roux · 54, 70, 73, 74
Roy · 174
Rudolph · 176, 196, 213
Ruel · 41, 42, 162
Rumelhard · 184
Russ · 176
Ryder · 147

S

Sachot · 26, 63, 67, 68
Sadler · 15, 43
Saglam · 46
Saint Georges · 204
Saint-Georges · 16, 76, 83, 88
Saltiel · 179
Salvetat · 48
Salviat · 181
Samurçay · 24
Sander · 19
Santini · 47
Sarmant · 39, 179
Scherr · 176
Schibeci · 154
Schneeberger · 95

Schneider-Gilot · 62
Schrauben · 145
Schreiner · 150
Schubauer-Leoni · 65, 84, 85, 205
Schunk · 145
Schwab · 169
Schwarz · 174
Scott · 32, 62, 147
Seidel · 175
Sensévy · 47, 84, 204
Séré · 45, 147
Shieh · 145
Shourchah · 80
Shulman · 21, 87
Simon · 43, 49, 130
Simonneaux · 43
Sjoberg · 133
Slota · 170
Sonneville · 120
Souassy · 85
Southerland · 175
Stengers · 29, 31
Stylianadou · 77

T

Tang · 173, 196, 213
Teilhard de Chardin · 22
Ternat · 177, 178, 179
Terrisse · 23, 101, 168
Thauvin-Roy · 58, 183
Thibault · 8
Thompson · 173
Tiberghien · 19, 22, 47, 48, 84, 85,
86, 147, 151, 204, 205
Tochon · 24
Toczek · 83, 101, 204
Toix · 47
Toplis · 176, 196
Toulmin · 43
Toussaint · 12, 32, 63
Tozzi · 14
Triquet · 95
Trognon · 54, 65, 70
Trousson · 88
Trumbull · 170
Tsatsarelis · 86
Tsatsaroni · 43
Tuan · 145
Tutiaux-Guillon · 62

U

UNESCO · 113, 114

V

Van Leeuwen · 128
Van Zee · 174

Vander Borgh · 12, 14, 42, 76
Vanhulle · 101, 206
Vasquez Alonso · 147
Venturini · 14, 101, 145, 146, 147,
148, 151, 152, 154, 159, 161,
162, 166, 167, 206, 210, 211
Vergnaud · 26
Vergnioux · 63
Vérillon · 78
Vérin · 70, 87, 95, 162
Vernant · 75
Verret · 21, 22, 27
Viau · 145
Viennot · 19, 53
Vierfond · 7
Vinatier · 101, 102, 192, 206
Vince · 47, 147
Vlassis · 172, 174, 196, 213
von Aufschnaiter · 43
Vygotski · 66, 70, 75, 80, 187

W

Walliser · 47
Walport · 113
Weil-Barais · 9, 10, 15, 16, 36, 47,
48, 53, 54, 62, 63, 64, 65, 67,
68, 69, 80, 85, 90, 216
Wertsch · 192
Wickman · 171
Windschitl · 173, 175, 196, 213
Winnykamen · 66
Winther · 45
Wood · 133
Woolgar · 32
Working group « Increasing
participation in maths, sciences
and technology » · 109, 132
Wu · 176, 196

Z

Zacharia · 77
Zmyrnaïou · 48

Tables des figures et des tableaux

<i>Figure 1 : Appuis théoriques du modèle de résolution de problèmes ouverts de physiques</i>	52
<i>Figure 2 : Schéma synthétique du modèle d'activité de résolution de problèmes construit par les professeurs stagiaires</i>	57
<i>Figure 3 : La structure didactique (Johsua & Dupin, 1993)</i>	63
<i>Figure 4 : Schéma triangulaire caractérisant une séquence d'enseignement (Toussaint, 1996)</i>	64
<i>Figure 5 : Description des pratiques éducatives (Dumas-Carré & Weil-Barais, 1998)</i>	64
<i>Figure 6 : Description des interactions didactiques en classe (Boilevin, 2000)</i>	69
<i>Figure 7 : Principe de conception du module de formation</i>	90
<i>Figure 8 : Structure du dispositif de formation effectif</i>	90
<i>Figure 9 : Un exemple de module de formation continue d'enseignants de sciences physiques</i>	96
<i>Figure 10 : Modélisation des actions réalisées au cours d'une séquence d'investigation (Morge, 2008)</i>	189
<i>Tableau 1 : Répartition des difficultés et des réussites au sein d'une même catégorie</i>	55
<i>Tableau 2 : Caractéristiques des deux dispositifs didactiques</i>	59
<i>Tableau 3 : Analyse des interactions verbales</i>	72
<i>Tableau 4 : Fréquences de sujets qui progressent, stagnent ou reculent entre le pré-test et le post-test dans les deux groupes</i>	82
<i>Tableau 5 : Répartition des variables par domaine</i>	97
<i>Tableau 6 : Résultats du pré-test</i>	98
<i>Tableau 7 : Résultats du post-test</i>	99
<i>Tableau 8 : Désaffection pour les sciences et son enseignement : les constats</i>	206
<i>Tableau 9 : Désaffection pour les sciences et son enseignement : les facteurs idéologiques, pédagogiques et didactiques</i>	207
<i>Tableau 10 : Désaffection pour les sciences et son enseignement : les recommandations pour les enseignements primaire et secondaire</i>	207
<i>Tableau 11 : Désaffection pour les sciences et son enseignement : les recommandations concernant les enseignants</i>	208