



MASTER RECHERCHE
**DIDACTIQUE DES SCIENCES ET
DES TECHNIQUES**



Revue de littérature

Les recherches sur la pratique de la démarche d'investigation.

Nathalie DIMARCQ
Juin 2009

Ce que nous comprenons, ce n'est pas la Nature en soi, mais la Nature soumise à notre investigation.

Heisenberg (1901-1976)

On ne fait jamais attention à ce qui a été fait, on voit toujours ce qui reste à faire.

Sklodoswska-Curie (1867-1934)

Sommaire

Introduction	P 4
1-Cadre d'étude	5
1-1 Limitation du cadre d'étude	5
1-2 Contexte	5
1-3 Polémique	6
2- Cerner le background	7
2-1 Méthodologie de repérage	7
2-2 Lien avec le constructivisme	9
2-2 Lien avec les « science studies »	10
3- Démarche d'investigation et apprentissages	11
3-1 Cadres d'analyse et modélisation	13
3-2 Apprentissage et compétences/skills	16
4- Démarche d'investigation et pratiques des enseignants	19
4-1 Examen des pratiques	20
4-2 Contraintes et dilemmes	21
4-3 Accompagnement	22
5-Bilan, observations et perspectives	23
5-1 Au niveau des apprentissages	23
5-2 Au niveau des pratiques des enseignants	24
5-3 Autres perspectives	25
Conclusion	26
Bibliographie	27

Introduction

L'objectif de cette revue de littérature est de réaliser, à partir des publications auxquelles nous avons pu accéder, un panorama des recherches qui se sont intéressées, dans l'enseignement des sciences, à la mise en œuvre de la démarche d'investigation en classe. Quelle(s) réalité(s) de la pratique montrent ces recherches? Quels questionnements et quelles pistes soulèvent-elles ?

Nous avons effectivement constaté l'abondance actuelle de l'utilisation de l'expression « apprentissage par démarche d'investigation » ou « inquiry based learning » dans les textes institutionnels, européens et internationaux, relatifs aux standards éducatifs ¹ où elle est présentée parfois comme « une stratégie centrale pour enseigner les sciences »². En France, l'appel à l'utilisation de la démarche d'investigation est largement répercuté dans l'institution scolaire, par les corps d'inspection et l'Académie des sciences, dans les programmes disciplinaires et les documents d'accompagnement de l'enseignement intégré de science et de technologie depuis 2002³. La démarche d'investigation y est présentée, comme un modèle pédagogique à développer dans les classes, notamment au collège, où les programmes indiquent qu'il s'agit « *d'une démarche impliquant l'élaboration de questions scientifiques ancrées dans le réel, la formulation d'hypothèses, le choix de méthodes, l'élaboration de dispositifs et de protocoles expérimentaux, le choix de données à recueillir, le traitement des données, la mise en forme et la communication des résultats* ».⁴ Elle est décrite précisément dans les disciplines scientifiques en reprenant cette forme relativement stéréotypée.

Il existe une profusion de propositions, de formations et d'outils pédagogiques à destination des enseignants qui laisse entendre que cette démarche est en cours de dissémination dans les classes. Abd-El-Khadick *et al.* (2004) constatent cependant une mise en œuvre très inégale au plan international avec une variété des pratiques à laquelle résiste, encore dans certains pays, un enseignement scientifique classique. D'autres auteurs (Mathé, Méheut et de Hosson, 2008) observent que le foisonnement très hétérogène de propositions pour mettre en pratique la démarche d'investigation dans les classes semble conduire à une diversité d'appropriations, d'utilisations voire de compréhensions au niveau des enseignants par rapport aux indications prescrites.

Nous avons choisi, dans ce vaste thème, de nous focaliser sur les travaux de recherche qui concernent la mise en œuvre de la démarche d'investigation ainsi que ses conséquences dans les apprentissages des élèves et dans les pratiques des enseignants. Comment explorent-ils ces deux facettes de la démarche d'investigation dans les classes ?

¹ Depuis 1990 « investigation » ou « inquiry » apparaît dans différents curriculums et standards d'enseignement scientifique, dans des projets tels que *Science for All Americans* (AAAS 1989, NRC 1996), *Science in the New Zealand Curriculum* (Ministry of Education 1993), *English National Science Curriculum, Pan Canadian Science Project* (Council of Ministers of Education 1997), *National Science Education standards* (Etats-Unis 1996), *Programme for International Student Assessment, PISA* (OCDE 2001).

² National Science Education standards (Etats-Unis 1996)

³ Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale hors-série n° 1 (2002)

⁴ Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale n°6 du 28 août 2008

1- Cadre d'étude

1-1 Limitation du cadre d'étude

L'orientation vers le thème central de cette revue de questions avait été conduite initialement par un faisceau d'interrogations personnelles concernant aussi bien les fondements de la notion de « démarche d'investigation » en sciences (est-ce un concept ou non ?), les apparitions et déclinaisons curriculaires de cette expression (homogènes ou non ?), les propositions faites aux enseignants pour la mettre en œuvre (réalisables ou non ?) et la réalité de la mise en œuvre en classe vue du côté des élèves ou des enseignants.

Des observations réalisées dans le cadre de notre mémoire tutoré nous ont également interpellées sur la place et le niveau de structuration des connaissances déterminés par les enseignants, dans le cadre de l'enseignement intégré de science et de technologie au collège (EIST) au regard d'un document d'accompagnement peu explicite sur cet aspect⁵.

Le point de vue didactique embrasse ce large éventail de questions. Il nous est apparu opportun de faire l'état des recherches concernant la mise en œuvre de la démarche d'investigation dans l'enseignement secondaire notamment, qui nous intéresse plus particulièrement.

Nous avons été amenée à baliser notre exploration de la littérature pour :

- déterminer les fondements de la démarche d'investigation dans le champ de la didactique afin de mieux situer les recherches ;
- examiner les apports des recherches qui concernent cette mise en œuvre du point de vue des apprentissages et des pratiques des enseignants ;
- cerner, à partir de ces apports, les nouveaux questionnements et les pistes qu'ils suscitent.

Au préalable, nous développerons deux points qui concernent le contexte et le repérage d'une polémique. Ces réflexions ont contribué à affiner notre regard sur « l'environnement » des recherches sur ce thème.

1-2 Contexte

L'omniprésence constatée de l'expression « démarche d'investigation » dans les textes institutionnels actuels nous a amenée à nous interroger sur quelques éléments du contexte. En Europe, on remarque ainsi que l'introduction de cette pratique peut-être présentée comme une avancée permettant de résoudre la question jugée problématique d'une désaffection des jeunes, et en particulier des filles, pour les sciences⁶ (Rocard *et al.*, 2007). Il s'agit de « *renverser la pédagogie utilisée pour enseigner les sciences à l'école, en la faisant passer de méthodes essentiellement déductives à des méthodes basées sur l'investigation qui permet d'augmenter l'intérêt des jeunes et surtout des filles pour les sciences* ». L'investigation est

⁵ Guide d'accompagnement de l'EIST 6^{ème} <http://science-techno-college.net/?page=134>

⁶ Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe: European Commission. Bruxelles (2007)

également présentée comme un moyen de réduire les inégalités en permettant une démocratisation de l'accès aux sciences au Québec⁷.

Nous n'avons pas pu réellement distinguer initialement si ce rapprochement, entre des questions sociales jugées problématiques et la pratique de la démarche d'investigation en classe comme solution préconisée, repose sur des évaluations approfondies ou justifie de choix politiques, liés à un contexte socio-économique, et donc éloignés de la didactique. Nous nous sommes rendue compte de la position délicate du chercheur dans des enjeux qui semblent relier des évolutions socio-économiques, des choix politiques et une actualisation nécessaire de l'enseignement en raison de l'évolution des connaissances et des techniques. Nous avons donc porté attention, dans la lecture des articles, aux éléments susceptibles de donner des indications sur le positionnement des auteurs et le contexte des recherches.

1-3 Polémique:

Nous avons également observé, dans les publications anglo-saxonnes de recherche récentes situées entre 2004 et 2009, l'existence d'une polémique sur le bien-fondé et l'utilité de la démarche d'investigation marquée par des positions très différentes sur ce sujet.

Certains auteurs (Windschitl, Thompson et Braaten, 2008) indiquent que les incitations institutionnelles traduisent la volonté d'induire un changement favorable dans l'enseignement des sciences, à contre-courant d'un modèle perdurant, qui repose essentiellement sur l'accumulation de connaissances transmises et sur l'utilisation exclusive de la méthode traditionnelle appelée « The Scientific Method » (TSM). Ils qualifient même cette dernière méthode de « *leurre culturel sur ce que signifie vraiment faire de l'investigation* ». Dans le même sens, l'utilisation de la démarche d'investigation s'opposerait à un enseignement traditionnel et restreint avec des « *activités incomprises* » par les élèves et encore trop généralisé (Roth et Garnier, 2007). Osborne (2007) démonte successivement les différentes « *fallacies* »⁸ (science objective, homogène, utile...) sur lesquelles serait fondé l'enseignement scientifique classique qui aurait un impact négatif sur l'attitude des étudiants vis-à-vis des sciences.

Cette vision n'est pas partagée et on peut relever des publications opposées à ce point de vue où les auteurs contestent le bien-fondé de la démarche d'investigation auprès des élèves, considérant qu'elle est « *inefficace et source de confusion pour les apprenants* » qui ne possèdent pas encore assez de repères et de connaissances scientifiques (Kirschner, Sweller et Clark, 2006) auxquels répondent des partisans de l'investigation qui leur reprochent notamment « *d'amalgamer démarche d'investigation et apprentissage par la découverte* » et qui argumentent en faveur de son intérêt dans l'apprentissage (Hmelo-Silver, Duncan et Chinn, 2007).

Ces observations, relatives au contexte et à la polémique existante, nous ont amenée à aiguïser notre lecture des recherches dans ce qui peut donner l'impression d'une cacophonie « *rough and tumble* » composée à la fois d'enjeux, de tensions, et d'avancées (Crawford, 2007) et qui peut parfois masquer les apports.

⁷ *Prendre le virage du succès : réaffirmer l'école.* (Gouvernement du Québec, 2001).

⁸ Le terme anglais est maintenu car il évoque mieux l'intention polémique de l'auteur que ne le ferait la traduction en français de « fallacies » par « faux raisonnement »

Nous avons estimé nécessaire tout d'abord de repérer quelques fondements de la démarche d'investigation, par une première approche « historique », pour situer son émergence et sa position dans le champ de la didactique des sciences avant de nous focaliser sur sa mise en œuvre.

2- Cerner le background

2-1 Méthodologie de repérage

Une première publication nous a montrée qu'il existe une variété d'expressions chez les anglo-saxons qui distinguent l'« inquiry based learning » (apprentissage par l'investigation), l'« inquiry based teaching » (enseignement par investigation) et « doing inquiry » (faire de l'investigation) (Anderson, 2004). En contraste, les pays francophones utilisent la seule expression « démarche d'investigation ». C'est donc à partir de ces différentes expressions qui nous ont servies de mots-clés sur le moteur de recherche « Google-scholar » et dans des bases de données universitaires (en particulier celle de Paris V) que nous avons été conduite, initialement à plusieurs centaines d'articles de recherche francophones et de langue anglaise disséminés dans une trentaine de revues explorant les champs épistémologiques, psychologiques, les études curriculaires, la didactique, les sciences de l'éducation et la pédagogie.

D'après les dates de publication des articles et des ouvrages consultés, la recherche en didactique sur ce thème a démarré autour de 1980. Certains auteurs font le lien entre l'émergence curriculaire, la prescription de l'utilisation de la démarche d'investigation et le début des pratiques dans les pays anglo-saxons dans les années 80 (Millar, 1996). Ceci permet d'orienter les recherches d'articles qui concernent les pratiques en classe des années 80 à nos jours.

On remarque cependant un article théorique, hors de ce lot des années 80, qui montre que le rôle de l'investigation dans l'enseignement des sciences est une préoccupation bien antérieure (Rutherford, 1964). Cet auteur cherche déjà à préciser et à clarifier la différence entre enseigner « *l'investigation comme contenu* » et enseigner « *l'investigation comme technique* ».

Nous avons donc un réuni un premier corpus, à partir des articles accessibles, dont la lecture permet de repérer sous quelle forme émerge et évolue la notion de démarche d'investigation et que nous avons organisé chronologiquement. (Fig. 1).

L'organisation chronologique des publications, ainsi que ce repérage des préoccupations, leurs références théoriques permettent de mieux cerner comment la démarche d'investigation est arrivée dans les classes.

Fig. 1 : tableau du corpus permettant de situer l'émergence de la démarche d'investigation

Date	Auteur(s)	Origine-Type	Langue	Titre
1985	Astolfi	<i>Article dans un ouvrage collectif INRP</i>	Française	Procédures d'apprentissages en sciences expérimentales
1989	Lacombe	<i>Revue Aster</i> <i>Article de recherche</i>	Française	Prendre le bâton de l'expérience...
1989	Driver	<i>Article dans un ouvrage collectif R. Miller (Ed.)</i>	Anglaise	The construction of the scientific knowledge in school classrooms.
1993	Vérin	<i>Revue Aster</i> <i>Article de présentation et de synthèse</i>	Française	Des modèles pédagogiques pour quelles finalités dans l'enseignement scientifique
1993	Gil-Perez	<i>Revue Aster</i> <i>Article de recherche</i>	Française	Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique
1996	Millar	<i>Revue Didaskalia</i> <i>Article de recherche</i>	Française (traduction de l'anglais)	Investigations des élèves en sciences : une approche fondée sur la connaissance.
1999	Beaufils et Larcher	<i>Revue Aster</i> <i>Article de présentation et de synthèse</i>	Française	L'expérimental dans la classe.
2000	Crawford	<i>Journal of Research in Science Teaching</i> <i>Article de recherche</i>	Anglaise	Embracing the Essence of Inquiry: New roles for Science Teachers.
2004	Schwartz, Lederman et Crawford	<i>Science Teacher Education</i> <i>Article de recherche</i>	Anglaise	Developing views of nature of science in an authentic context : an explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry
2007	Grandy et Duschl	<i>Science & Education</i> <i>Article de recherche</i>	Anglaise	Reconsidering the character and role of inquiry in school science: analysis of a conference.

2-2 Lien avec le constructivisme

Les textes de la plupart de ces auteurs rendent apparentes des modalités nouvelles qu'ils démarquent d'une situation antérieure ou manière de faire en vigueur dans l'enseignement des sciences par rapport à laquelle ils se positionnent.

Pour Lacombe (1989), c'est l'application de la méthode expérimentale stéréotypée considérée comme unique manière d'établir de connaissances scientifiques qui n'offre qu'un intérêt limité et musèle la créativité et l'imagination des élèves. Pour cet auteur, il est nécessaire que les élèves travaillent à partir de questions ouvertes dont on ne connaît pas la réponse. Astolfi (1984) et Driver (1989) évoquent la nécessité de la construction du sens par l'élève à partir de ses recherches et de ses manipulations ancrées dans le réel, par opposition à un enseignement transmissif. Il est dit également que l'objectif essentiel d'un enseignement des sciences devrait être de viser la résolution de problèmes plutôt que des changements conceptuels qu'on cherche habituellement à provoquer par des situations-problèmes déterminées par les objectifs-obstacles à franchir (Gil-Perez, 1993).

Une synthèse de la revue Aster s'intéresse à la finalité de différents modèles⁹ pédagogiques utilisés dans l'enseignement des sciences et la technologie à partir de différents travaux de recherche (Vérin, 1993). L'auteure souligne que les recherches sur ces modèles et leur application en classe, en vigueur dans l'enseignement de sciences dans les années 90, montre d'une part leur hétérogénéité (avec ou sans élaboration de situation-problème, prise en compte ou non des conceptions initiales), et d'autre part une préoccupation commune émergente d'articuler *une forme d'investigation* (ouverte ou guidée, globale ou ponctuelle), reposant sur une interrogation, avec une réalisation technique ou expérimentale. Dans cet article la démarche d'investigation comme modèle pédagogique n'est pas identifiée. Il nous semble qu'il s'agit plutôt de d'évoquer des modèles existants (ex: expérimentation, modélisation) qui soutiennent une investigation apparaissant davantage comme une direction générale à suivre pour l'enseignant. Simultanément, l'article de Gil-Perez (1993) développe la nécessité d'associer l'apprentissage des sciences à la démarche scientifique entendue comme « *démarche faisant appel à l'expérimentation aussi bien qu'à l'échange et la communication* ». Cet auteur évoque le besoin de rapprocher davantage l'enseignement/apprentissage des sciences des caractéristiques de la recherche faite par les scientifiques.

Ces publications permettent ainsi de relever des jalons qui balisent l'introduction de l'investigation dans les classes. Elles font notamment souvent référence, au niveau théorique, au courant constructiviste (Vigotski) mais également à des auteurs pionniers, antérieurs, de la pédagogie des méthodes d'éducation actives (Dewey) ou ceux de la construction des apprentissages à partir de situations authentiques (Freire).

⁹⁹ *Modèle pédagogique* entendu au sens d'une construction théorique articulant de façon cohérente un ensemble de situations didactiques projetées ou effectives, qui leur donne un sens et spécifie les conditions de leur mise en œuvre dans le cadre d'un cursus d'ensemble. (Vérin, 1993)

On résumera ainsi « l'état d'esprit » dans lequel prend progressivement forme la démarche d'investigation, tel qu'il ressort de cette première analyse.

<i>L'enseignement traditionnel...</i>	<i>Auquel on oppose une nouvelle forme d'enseignement...</i>
Transmissif	Interactif
Restreint	Ouvert
Répétitif	Varié
Contrôlé par l'enseignant	Co-construit par l'élève
Artificiel	Ancré dans le réel/authentique

Nous constatons donc, que si dans les années 1980 l'expression « démarche d'investigation » n'est pas toujours utilisée, on peut observer chez les auteurs mentionnés l'émergence d'une aspiration à de nouvelles pratiques, oscillant entre différentes appellations. A l'état d'approche pour certains, elle est avancée comme véritable modèle pédagogique pour d'autres. Elle s'implante de manière plus nette dans les années 90, dans les articles relevés, avec discussion et réflexion autour des problèmes scientifiques proposés en classe, accent mis sur leur résolution ou leur construction ou, déjà un regard sur la pratique d'une investigation ouverte avec choix des situations et des tâches par les élèves. Il nous est apparu que la question des concepts, de leur élaboration et de leur remaniement semble rester au cœur des préoccupations.

2-3 Lien avec les « science studies »

On peut voir, à partir des années 90, dans certains articles mentionnés précédemment, s'adjoindre des préoccupations liées au développement des « science studies », ou études sociales des sciences, qui portent un autre regard sur la manière dont sont produites les connaissances scientifiques.

Pour un des auteurs, il est question de nécessité de rapprocher davantage l'enseignement et l'apprentissage des sciences des caractéristiques de la recherche faite par les scientifiques en une véritable « *expérience de l'expérimentation* » en classe (Driver, 1989). Lacombe (1988) critique sévèrement les méthodes d'enseignement inspirées de l'épistémologie classique, comme la démarche itérative expérimentale classique fondée sur la restitution a posteriori d'un processus beaucoup plus complexe dont il faudrait tenir compte dans l'enseignement. Gil-Perez (1993) exprime la nécessité de s'inspirer des « *avancées de l'épistémologie contemporaine* » pour mettre en place une véritable « *démarche de recherche scientifique* » accordant aux élèves un statut de « *chercheurs novices* » sous la houlette d'un « *directeur de recherches* » incarné par l'enseignant. Pour cet auteur, cette démarche ne limiterait pas le travail de élèves à de l'expérimentation mais permettrait une « *investigation beaucoup plus ouverte* » comprenant également le travail de lecture habituel aux chercheurs et la

communication de leurs résultats à la communauté. Cet élargissement du cadre traditionnel suscite des recherches qui interrogent la « *place de l'expérimental* » et s'intéressent à redéfinition éventuelle du travail empirique dans cette évolution (Beaufils et Larcher, 1999).

D'autres travaux (Schwartz, Lederman et Crawford, 2003) indiquent cependant qu'enseigner les sciences par la démarche d'investigation n'apparaît pas comme suffisant pour donner une vision authentique de la « nature des sciences » (« Nature Of Science », NOS), et de la manière dont les connaissances scientifiques sont produites. Sur la base de leurs résultats, ils suggèrent la nécessité de formations explicites sur la NOS en plus de la conduite d'investigations.

Certains auteurs (Grandy et Duschl, 2007) qui se sont intéressés récemment à dessiner les contours de la démarche d'investigation dans le champ de la didactique des sciences à partir des années 2000, confirment, avec un peu de recul, son remodelage à partir des idées et des travaux sur la nature des sciences et le rôle de l'investigation scientifique en classe, et ajoutent qu'elle intègre maintenant les idées de la psychologie cognitive autour de l'apprentissage et de sa dimension socio-affective. Ils soulignent que la mise en œuvre de cette démarche d'investigation implique des changements conceptuels tant au niveau des apprentissages que des pratiques des enseignants.

Le consensus qui nous semble émerger dans les publications étudiées est celui qui fait apparaître la limite des processus conceptuels et cognitifs mobilisés en sciences quand on ramène l'enseignement à la démarche scientifique classique (TSM) qui est considérée comme simplifiant la nature du travail scientifique et mésestimant le rôle des interactions sociales dans l'élaboration et le partage des connaissances.

A travers cette première partie du travail de la revue de littérature, la démarche d'investigation nous apparaît donc être un « objet particulier à background identifié » de l'enseignement, à géométrie variable et croissante à partir de 90, s'appuyant sur des cadres théoriques d'origines différentes et exigeant un remaniement des pratiques traditionnelles. Nous la définirons essentiellement comme un processus d'apprentissage par exploration du monde, conduisant l'apprenant à se poser des questions et faire des découvertes dans la recherche de nouvelles compréhensions.

Nous allons examiner maintenant les travaux qui s'intéressent aux différents aspects de la mise en œuvre de la démarche d'investigation, essentiellement dans l'enseignement secondaire. Nous avons regroupé dans un premier temps les travaux qui s'intéressent à cette démarche du point de vue des apprentissages (inquiry learning) puis ceux qui privilégient une approche du côté de l'enseignant et de sa pratique (inquiry teaching).

3- Démarche d'investigation et apprentissage

Nous avons réuni une seconde série d'articles de recherche concernant le point de vue des apprentissages et dans lequel nous avons pu distinguer deux ensembles s'intéressant respectivement à :

- l'élaboration de cadres d'analyse et de modèles pour comprendre les apprentissages des élèves à partir d'observations d'élèves réalisant des démarches d'investigation,

- l'étude des compétences plus spécifiques mises en jeu par les élèves lors d'étapes d'investigation et les conditions et propositions d'amélioration.

L'ensemble des travaux examinés ainsi que des indications sommaires sur le cadre choisi sont mentionnés dans le tableau suivant (Fig. 2).

Fig. 2 : Tableau présentant le corpus relatif aux travaux concernant les apprentissages

Dates	Auteurs	Articles	Type d'activité/Echantillon/ Pays
1996	Millar	<i>Investigation des élèves en science: une approche fondée sur la connaissance</i>	Activité en sciences physiques, Groupe d'élèves ayant 14 ans (nombre non connu) GB
1998	Krajcik <i>et al.</i>	<i>Inquiry in project-based science classrooms : initial attempts by middle school students</i>	2 projets (chimie, gestion des déchets) 8 élèves de 13 ans investis dans sur 2 projets choisis au sein d'une classe Etats-Unis
1999	Schneeberger et Rodriguez	<i>Des lycéens face à une investigation à caractère expérimental: un exemple en 1ère S</i>	Programme de SVT de 1 ^{ère} S, Une classe avec binômes ou petits groupes France
1999	Coquidé <i>et al.</i>	<i>« Résistance au réel » dans les pratiques expérimentales.</i>	Programme de SVT de 1 ^{ère} S, Une classe avec binômes ou petits groupes France
2002	Reid et Yang	<i>Open-ended problem solving in school chemistry : a preliminary investigation.</i>	Activité d'investigation ouverte en chimie Groupes de 3 élèves écossais+ groupes d'élèves taïwanais GB (Ecosse), Taiwan
2002	Tomkins et Tunnicliffe	<i>Looking for ideas: observation, interpretation and hypothesis-making by 12-year-old pupils undertaking science investigations.</i>	Etude d'un écosystème (SVT) 4 groupes d'élèves âgés de 12 ans pris dans 4 écoles collège différents GB
2004	Watson <i>et al.</i>	<i>Students' discussions in practical scientific inquiries.</i>	Activité de construction d'une chaîne en papier groupes venant de 2 classes, de 3 élèves âgés de 12 à 13 ans . GB, Australie
2006	Wu et Krajcik	<i>Inscriptional practices in two inquiry-based classrooms: a case of seventh graders use of data tables and graphs</i>	4 activités utilisant tableaux et graphiques sur le thème de la qualité de l'eau 2 classes d'élèves âgés de 13 à 14 ans Etats-Unis
2006	Wu et Hsieh	<i>Developing sixth graders' inquiry skills to construct explanations in inquiry-based learning environments</i>	Activités en science 2 classes d'élèves âgées de 12 ans, Taiwan
2007	Toplis	<i>Evaluating science investigations at 14-16: dealing with anomalous results</i>	Activités en physique et chimie 6 groupes de 2 ou 3 élèves âgés de 14 à 16 ans de 3 collèges suivis pendant 2ans GB
2008	Trani Gomes <i>et al.</i>	<i>Students' performance in investigative activity and their understanding of activity aims.</i>	Activités d'investigation en physique sur ordinateur 181 élèves âgés de 15 à 18 ans Brésil
2008	Hume <i>et al.</i>	<i>Student experiences of carrying out a practical science investigation under direction.</i>	Activité d'investigation guidée en physique ou en chimie, 2 classes de lycée (élèves de 15-16 ans) de deux établissements différents Nouvelle-Zélande

3-1 Cadres d'analyse et modélisation.

Nous avons vu que la préoccupation d'enseigner autrement les sciences émerge dans les années 80. La pratique de la démarche d'investigation dans les classes démarre progressivement dans les années 1990 suivie par un certain nombre de travaux à visée heuristique qui s'intéressent aux conséquences de la réalisation de cette démarche sur les apprentissages. Ils se sont orientés sur les « compréhensions » requises pour la mener. Les auteurs de ces travaux ont tout d'abord cherché, en élaborant des cadres d'analyse à partir de tâches d'investigation ouvertes ou semi-guidées observées, à rendre compte et à modéliser les différents aspects de la connaissance nécessaire pour la réalisation des tâches.

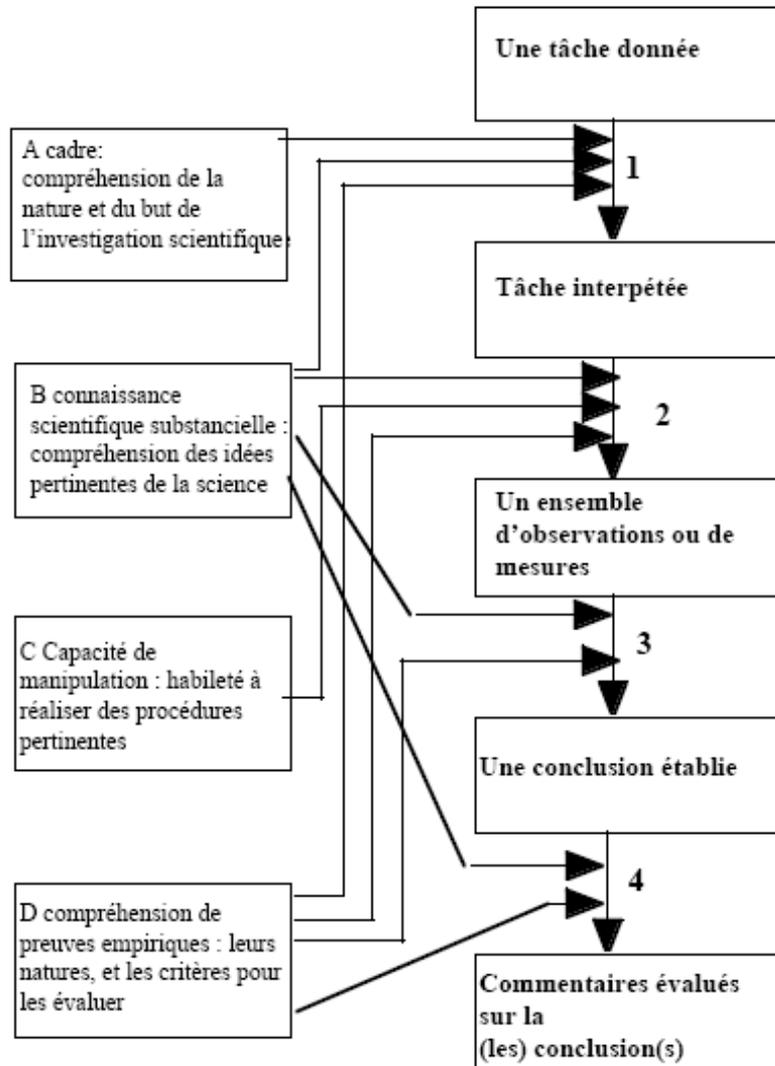
C'est ainsi que Millar (1996) s'est attaché, dans le cadre d'un projet global s'intéressant aux « Connaissances conceptuelles et procédurales en sciences »¹⁰ lié à la mise en œuvre du curriculum britannique de 1989, à élaborer un modèle permettant de décrire la relation entre la démarche et les apprentissages à partir d'observations d'élèves en train de réaliser une démarche d'investigation sur l'isolation thermique. Il s'intéresse au « *cadre d'investigation* » choisi par les élèves et à la façon dont ils collectent et utilisent les données comme preuve à partir d'une tâche initiale donnée ou choisie.

Associés aux étapes que les élèves conduisent, Millar identifie ainsi « *quatre domaines de compréhension* » nécessaires qui doivent être mobilisés. Ce sont ceux de la compréhension de la nature et du but de l'investigation, de la pertinence des idées scientifiques, de l'habileté à réaliser des procédures pertinentes, de la nature et des critères d'évaluation de la preuve. Il indique que les observations réalisées dans le cadre du projet global, ont montré que ces quatre domaines de compréhension sont actifs si les buts d'une démarche d'investigation expérimentale sont explicités aux élèves. L'auteur souligne qu'il ne s'agit donc pas de lancer les élèves « *à l'aveuglette* » dans une exploration trop hasardeuse des phénomènes observés. Ses travaux ont abouti à une schématisation montrant la relation entre compréhension et actions dans la réalisation d'une investigation scientifique : le modèle PACKS, repris par la suite dans d'autres recherches. (Fig.3)

¹⁰ PACKS: Procedural and Conceptual Knowledge in Science, ce projet a pour but en 96 de développer un modèle pour relier les tâches et les performances des élèves lors d'investigation

Fig. 3 : Schéma du modèle PACKS de Millar (1996)

Relation entre compréhension et actions dans la réalisation d'une investigation scientifique.



D'autres auteurs sont dans la même entreprise qu'ils enrichissent ou précisent. En 1998, le travail de Krajcik *et al.* a pour but d'examiner également l'activité réelle d'élèves lors d'une démarche d'investigation et les problèmes qu'ils rencontrent. Ces auteurs observent huit élèves investis dans deux projets se déroulant sur plusieurs mois et consistant, pour l'un à identifier une substance dans un produit en l'absence d'étiquette, et pour l'autre, à explorer le devenir des déchets ménagers.

En plus des enregistrements issus de l'observation des élèves, ils recueillent également tout un ensemble de matériaux englobant des entretiens, les cahiers, les brouillons, les devoirs et les évaluations. Ils identifient comment les élèves conçoivent leur investigation, expérimentent, collectent, traitent les données et rendent compte de leurs résultats à partir d'un cadre d'analyse élaboré à cet effet et qui leur permet d'identifier deux catégories d'investigation (expérimentale et descriptive). Ils constatent que les élèves sont globalement capables de conduire une démarche à partir des problèmes qu'ils déterminent eux-mêmes et repèrent que les difficultés se situent au niveau de la cohérence du « cadre d'investigation »

choisi avec le problème posé, de la pertinence des expériences et de la discussion des résultats. Ils soulignent que ces difficultés correspondent à celles qui sont rencontrées par les chercheurs, ce qui participe ainsi à donner un meilleur aperçu du travail réel des scientifiques. Pour eux, ce sont ces difficultés spécifiques qui méritent en particulier d'être travaillées et étayées par les enseignants avec le recours possible à des moyens technologiques adaptés. Ils relèvent également le rôle important des interactions entre les élèves, qu'ils suggèrent d'explorer davantage.

D'autres auteurs (Schneeberger et Rodriguez, 1999), ont observé des élèves de 1^{ère} S dans le cadre d'une investigation ouverte en SVT, démarrant par la découverte de l'environnement proche des élèves (activité viticole proche de l'établissement) à partir de laquelle ils élaborent eux-mêmes un problème scientifique et conduisent leur démarche. Les auteurs s'attachent à repérer la manière dont les élèves s'investissent dans la démarche, en appréhendent les étapes, ainsi que les difficultés qu'ils rencontrent. Le temps disponible, plusieurs semaines, est plus long que celui habituellement utilisé dans les cours classiques pour l'expérimentation. Ils identifient et précisent différentes stratégies utilisées par les élèves pour conduire leurs investigations (exploratoire, sécuritaire adaptative, pilotée par la manipulation, défaitiste) et proposent un modèle d'analyse des activités reprenant et enrichissant le modèle de Millar précédemment expliqué. Comme cet auteur, ils montrent également, en analysant le cheminement des élèves, que le « cadre d'investigation » choisi par les élèves dépend étroitement de la nature du problème posé initialement et de sa compréhension. Ils cernent également des habiletés techniques fragiles ainsi que des difficultés à mobiliser des concepts fondamentaux antérieurs et à rédiger des comptes-rendus non épurés correspondant à la réalité de l'investigation conduite et non à une production supposée conforme aux attentes de l'enseignant.

Une autre équipe (Coquidé, Bourgeois-Victor et Desboux-Salviat, 1999) s'est attachée à mieux comprendre, dans le cadre d'une démarche d'investigation en 1^{re} S (sur le métabolisme énergétique des ectothermes), comment l'élaboration et la réalisation de plus longues expériences par les élèves leur permet de « *s'affronter au réel et de mieux comprendre la compréhension de certains aspects du travail du scientifique* ». Elle s'intéresse particulièrement à la manière dont les élèves gèrent et conduisent l'investigation, et à la comparaison des difficultés qu'ils verbalisent par rapport aux difficultés réellement observées. Les auteures en proposent une classification (fondée sur les travaux de Martinand dans les années 80) qui permet de repérer si celles-ci relèvent davantage de la résistance au réel (dans ce cas particulier de l'étude sur des animaux vivants), de la sollicitation des éléments du référent empirique (la réalisation), de l'instrumentation et des instruments, ou de la sollicitation de la matrice cognitive. Elles relèvent en particulier que les élèves ont des difficultés à mobiliser des connaissances antérieures, à raisonner, et qu'ils mésestiment la réalisation des protocoles et des mises au point techniques. Comme Gil-Perez dans l'étude précédente, elles constatent que les élèves tendent à gommer les problèmes rencontrés pour présenter une version de leur investigation conforme à un schéma en vigueur de type OHERIC (observation, hypothèse, expérience, résultats, interprétation, conclusion). Elles proposent de développer davantage des situations pour pratiquer la démarche d'investigation qui permettent d'accéder à une image plus proche de la réalité du travail des scientifiques.

Nous constatons une convergence et une cohérence de ces quatre recherches pour identifier, à partir des activités des élèves et de leurs difficultés éventuelles, des « *domaines de compréhension* » nécessaires pour réaliser une démarche d'investigation. Ces travaux nous apparaissent constituer un ensemble préliminaire, socle des recherches qui vont leur succéder

et qui s'intéressent de plus près aux « compétences/aptitudes » ou « skills » à développer au niveau de l'apprentissage pour investir ces « domaines de compréhension » nécessaires dans l'élaboration et la conduite d'une démarche d'investigation. Ils posent également les prémices de la conception de situations d'enseignement/apprentissage permettant une investigation plus conforme au travail des scientifiques.

3-2 Apprentissage et compétences/skills

Vue d'ensemble de ces recherches :

Nous avons repéré dans le corpus déjà recueilli (Fig. 2) qu'à partir des années 2000 se développe une série de recherches qui examinent plus particulièrement ces « domaines de compréhension » et les compétences spécifiques qui s'y rattachent, lors de la réalisation des étapes d'une démarche d'investigation, autour d'activités réalisées dans différentes disciplines. Ce groupe de recherches s'attache, à partir de l'observation d'activités des élèves en classe, à identifier ces compétences lors de tâches et à repérer différents facteurs qui peuvent soutenir les apprentissages (interactions, verbalisation, situation ancrée dans l'environnement proche...). Ces recherches aboutissent généralement à des propositions d'amélioration et à une réflexion sur la construction de situations d'enseignement/apprentissage adaptées pour permettre l'acquisition des compétences visées. Ces travaux ont en commun le fait d'utiliser des matériaux variés (observations et enregistrements vidéo des élèves en activité, cahiers et traces écrites diverses, entretiens) dont les analyses sont ensuite croisées pour répondre aux questions de recherche.

Apports de différents travaux :

Dans une de ces recherches, Tomkins et Tunnicliffe (2001) s'interrogent sur la construction du sens par l'élève dans l'élaboration du « cadre d'investigation » partant de l'observation d'un écosystème (crevettes, algues) placé dans une bouteille. Ils observent plus spécifiquement huit élèves dont les conversations sont enregistrées et les cahiers d'expériences récoltés. En plus de l'enseignant, un chercheur biologiste participe à ces séances de type « club de sciences » plutôt que cours. Il n'y a donc pas d'enseignement, au sens habituel, dans l'activité proposée aux élèves, pas de contraintes de programme et une planification souple.

A partir de l'analyse des conversations et des traces écrites, les auteurs constatent que les élèves évoluent progressivement, au cours des séances, d'une attitude de simple observateur vers un rôle plus élaboré, utilisant l'expérience et mobilisant des connaissances antérieurement traitées en classe. Ils identifient comme moteur de cette évolution la verbalisation orale (interactions, restitutions, présentations, « bavardages ») et écrite lors de l'investigation. Ils indiquent que la construction du « cadre d'investigation » est lente, progressive et concomitante de cette verbalisation. Ils remarquent également que si le rôle de l'enseignant et du chercheur reste important dans les échanges, certaines interactions dans les groupes ont conduit à des investigations plus approfondies au plan scientifique que celles qui auraient été proposées par les adultes dans un cours plus classique. Selon les auteurs, les bavardages en apparence anodins et le fait de ne pas limiter le temps, sont des facteurs essentiels pour que les élèves s'approprient le sens de leur activité et posent progressivement leur cadre d'investigation. Ils proposent de s'inspirer de ces observations pour mettre en place des situations d'apprentissage dans les classes qui tiennent compte de ces paramètres.

S'intéressant également à la compréhension du sens de la démarche d'investigation par les élèves, Trani Gomez, Tarciso Borges et Justi (2008) entreprennent une recherche de plus grande envergure, au niveau du nombre d'élèves concernés, grâce à une activité proposant deux situations d'investigation pouvant être réalisées en ligne, ce qui permet ainsi de recueillir et d'enregistrer un grand nombre de données. Ils cherchent à explorer le lien entre la cohérence du « cadre d'investigation », le problème posé et la conduite de l'investigation. Comme Millar en 1996, leurs résultats indiquent qu'une perception juste de l'objectif de l'investigation permet la réalisation d'une démarche adéquate. Les élèves les plus performants sont ceux qui sont capables de comprendre le but de l'investigation et s'y réfèrent au cours des étapes de réalisation. Les auteurs identifient la compréhension du but comme une compétence nécessaire à développer de manière explicite en classe pour être efficace. Ceci est confirmé par les pré- et post-tests réalisés.

Reid et Yang (2002) s'intéressent à la mobilisation des concepts lors de la réalisation d'une démarche d'investigation à partir de propositions de problèmes ouverts en chimie pour lesquels les élèves ont à élaborer leur « cadre d'investigation ». Ils observent que les élèves sont capables de mobiliser des unités de compréhensions cohérentes issues d'une mémoire à long terme pour certaines tâches, qu'ils intitulent « îlots de connaissances » (« islands of knowledge »). Cependant, ils relèvent que les liens semblent avoir du mal à s'établir entre ces îlots pour donner une compréhension d'ensemble de la démarche réalisée. Ils se demandent s'il n'y a pas, à ce niveau, une compétence fondamentale (« key skill ») à acquérir pour établir ces liens et surmonter les obstacles qui empêchent une vision cohérente globale. Ils s'interrogent cependant sur la possibilité d'enseigner une telle compétence, se demandant si elle ne s'acquiert pas progressivement et spontanément plutôt que par un enseignement spécifique et explicite.

D'autres auteurs (Wu et Krajcik, 2006), étudient le *domaine de compréhension* des élèves relatif à l'élaboration et à l'exploitation des représentations graphiques (tableaux, graphes, schémas) construites lors de la réalisation d'une démarche d'investigation. Ils cherchent à savoir si les conditions d'apprentissages induites par l'investigation sont favorables à la maîtrise des outils graphiques. Dans cette étude, l'enseignant propose, à un groupe d'élèves observés, d'évaluer pendant la durée de l'année scolaire, la qualité d'un cours d'eau local à partir d'un recueil de mesures et de tests effectués sur le terrain. Les chercheurs constatent que les élèves améliorent leurs productions de tableaux et de graphiques quand l'enseignant les étaye pour avancer par étapes dans leur investigation. Ils avancent le fait que la réalisation des productions enchâssées dans une activité d'investigation réelle (déterminer la qualité du cours d'eau) et présentée ensuite aux responsables locaux, favorise l'engagement des élèves pour améliorer leurs représentations graphiques. Leur observation montre en effet, à partir des échanges et des interactions, que ceux-ci s'interrogent sur la signification des colonnes, des lignes et des graphes, ce qui les incite à penser que les élèves en acquièrent progressivement une compréhension plus approfondie que dans un cours classique. Les chercheurs invitent à considérer l'intérêt de l'investigation ancrée dans l'environnement proche, dans la conception des situations proposées.

Une autre étude cherche à identifier la manière dont les élèves élaborent une explication (Wu et Hsieh, 2006) à partir de quatre situations problème qui leur sont posées. Ces chercheurs déterminent des compétences à acquérir pour élaborer des explications cohérentes : identifier des relations causales, décrire son processus de raisonnement, utiliser les données comme preuve, et critiquer l'explication produite. Les auteurs montrent que l'analyse des difficultés

des élèves met en avant la nécessité de supports explicites importants à concevoir pour que les élèves puissent identifier et utiliser des critères qui leur permettront de s'améliorer.

La recherche de Toplis (2007), interroge la manière dont les élèves identifient et gèrent les anomalies de résultats qu'ils obtiennent au cours d'une investigation. Il souligne que cet aspect de l'activité des scientifiques n'est pas traité dans les cours classiques et que la pratique de l'investigation génère ainsi des opportunités de se rapprocher du travail scientifique. Il constate à partir des observations que si les élèves sont capables de mobiliser des connaissances antérieures pour s'apercevoir d'une anomalie, d'autres compétences plus spécifiques sont nécessaires pour gérer la gestion de ces anomalies pour progresser. Selon lui elles nécessitent d'être précisées et appuyées par des formations explicites.

Pour Watson, Swain et Mac Robbie (2004), la réalisation de la démarche d'investigation requiert également le développement de compétences pour argumenter et faire le lien entre les résultats et l'explication élaborée, contrairement à l'enseignement traditionnel où les étapes des protocoles sont suivies et peu discutées. Cette compétence est en effet importante pour les scientifiques.

Cet ensemble de travaux fait apparaître un fil conducteur ou la démarche d'investigation constitue le moyen de réaliser un enseignement proche de l'activité réelle des scientifiques. Nous remarquons que la période de ces travaux théoriques et des recherches empiriques conduits, concordent avec l'adjonction des préoccupations issues des « sciences studies » dans le champ de la didactique. Ces recherches permettent également de situer l'origine des livrets de compétences, des standards et des évaluations qui leurs sont liées. Nous avons observé qu'elles fournissent non seulement des indications sur les compétences à développer pour réaliser et induire une démarche d'investigation mais également qu'elles dessinent des pistes et des propositions pour concevoir les situations, favoriser les apprentissages et améliorer les performances des élèves.

Etude particulière

Une publication (Hume *et al.*, 2008) exprime cependant un réel risque d'appauvrissement des connaissances et de la compréhension des élèves au regard de la floraison de situations/d'enseignement apprentissage conçues et formatées en fonction de ces travaux et des évaluations nationales. Ces auteurs ont observés que certaines de ces situations conçues spécifiquement tendent à viser l'efficacité et la rapidité au détriment de la réflexion et de l'esprit critique. L'apprentissage devient alors mécanique à l'encontre des objectifs curriculaires initiaux, ceux de la Nouvelle Zélande dans cette étude.

Ces modifications de la conception des apprentissages en lien avec la démarche d'investigation ont des conséquences sur le rôle de l'enseignant qui est appelé à faire évoluer ses pratiques. Nous allons maintenant nous intéresser aux travaux qui étudient cette perspective.

4-Démarche d'investigation et pratiques des enseignants

Certaines recherches examinent depuis une vingtaine d'années les pratiques des enseignants. Quelques travaux ont commencé à s'intéresser, déjà en termes de contraintes et d'obstacles, aux pratiques de l'enseignant au tout-début de la mise en œuvre de la démarche d'investigation dans les classes, dans les années 80 aux Etats-Unis, et mettent en avant des questions de repérage des tâches (Welch *et al.*, 1981).

D'autres recherches sur les pratiques effectives se sont développées par la suite, dans le cadre de formes traditionnelles d'enseignement (cours ou travaux pratiques), dont certaines ont montré la résistance des habitudes des enseignants aux changements de pratiques lors de la mise en œuvre d'un nouveau programme par exemple (Robert et Rogalski, 2002).

Nous avons réunis dans le corpus présenté en Fig. 4 des travaux qui concernent plus particulièrement l'analyse des pratiques liées à la démarche d'investigation et à partir duquel plusieurs orientations sont apparues.

Fig.4 : Tableau présentant le corpus relatif aux pratiques des enseignants

Dates	Auteurs	Articles/ thèse	Origine
1994	Marx <i>et al.</i>	Enacting project-based science; experiences of four middle grade teachers.	The Elementary School Journal
2000	Crawford	Embracing the essence of inquiry: new roles for science teachers.	Journal of Research in Science Teaching
2001	Keys et Bryan	Co-constructing inquiry-based science with teachers: essential research for lasting reform.	Journal of Research in Science Teaching
2001	Luft	Changing inquiry practices and beliefs: the impact of an inquiry-based professional development programme on beginning and experienced secondary science teachers.	International Journal of Science Education
2002	Anderson	Reforming science teaching: what research says about Inquiry?	Journal of Science Teacher Education
2002	Windschitl	Inquiry projects in science teacher education: what can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice?	Science Teacher Education
2004	Roehrig et Luft	Constraints experienced by beginning secondary science teachers in implementing scientific inquiry lessons	International Journal of Science Education
2004	Haefner et Zembal-Saul	Learning by doing? Prospective elementary teachers' developing understandings of scientific inquiry and science teaching and learning	International Journal of Science Education
2005	Oh	Discursive roles of the teacher during class sessions for students presenting their science investigations.	International Journal of Science Education
2007	Crawford	Learning to teach Science as inquiry in de rough and tumble of practice.	Journal of Research in Science Teaching
2008	Barma	Un contexte de renouvellement de pratiques en éducation aux sciences et aux technologies : une étude de cas sous l'angle de la théorie de l'activité.	Thèse, Université de Laval, Québec

4-1 Examen des pratiques

Une première orientation cherche à examiner, à décrire et à analyser le rôle de l'enseignant dans ce contexte de renouvellement des pratiques lors de la réalisation globale d'une investigation sur l'année (Crawford, 2000) ou sur un aspect plus spécifique (Oh, 2005). Ce champ s'élargit ensuite par une approche systémique intégrant tout un ensemble de caractéristiques : tâches réalisées, interactions, ensemble des acteurs impliqués et différents facteurs du contexte (Barma, 2008).

Crawford, à partir d'un cas, examine ainsi la conduite d'une investigation en écologie, en recueillant un large éventail de données concernant l'enseignant (enregistrements, préparations, entretiens semi-guidés et conversations informelles). Elle focalise la plus grande partie de son travail d'analyse sur différents points concernant l'enseignant : la manière dont il conçoit et développe les activités pour les élèves, ses références et sa conception du travail scientifique, les interactions et la gestion des incidents développées. L'enseignant est, d'après l'auteure, volontaire et très impliqué dans son travail. L'auteure caractérise, à partir de cette analyse, les différentes facettes du rôle que joue l'enseignant : mentor, motivateur, diagnosticien, guide, innovateur, expérimentateur, chercheur, collaborateur, apprenant et modèle. Elle souligne que la démarche d'investigation, dans le cadre de ce type de projet ancré dans l'environnement et conduit sur l'année entière, requiert un « *haut niveau d'expertise et implique d'investir d'autres rôles moins conformes à ceux qu'on attend d'habitude d'un enseignant* ». Elle préfère nommer ce type de démarche d'investigation « *investigation collaborative* » dans la mesure où « *les connaissances produites sont les résultats d'une véritable coopération et d'interactions cognitives entre les membres de la communauté (enseignants, élèves, intervenants)* ». Cette étude précise les profondes modifications de rôle traditionnel de l'enseignant et de son rapport aux élèves.

Le travail de thèse de Barma (2008) prolonge cette perspective. Il met au point une approche spécifique d'analyse à partir de l'activité d'une enseignante pour mettre en œuvre des situations d'enseignement/apprentissage ancré dans le quotidien. Cette auteure est ainsi amenée à convoquer des cadres théoriques particuliers (psychologie culturelle, communautés de pratiques, systèmes d'activités) qui permettent une approche systémique pour suivre le renouvellement des pratiques de chaque enseignant dans un « *réseau conceptuel émergent* ». Celui-ci permet de visualiser comment s'enchaîne la pratique de l'investigation dans un ensemble plus large considérant la pratique de l'enseignant dans ces dimensions scientifiques, pédagogiques mais aussi culturelles et sociales (avec des distinctions de niveaux de contexte). Il s'agit d'une tentative pour modéliser les pratiques dans le cadre du développement de démarches d'investigation ouvertes et pluridisciplinaires.

Une toute autre perspective est choisie par Oh (2005), qui examine l'angle discursif de la pratique d'un enseignant pendant la phase de la démarche d'investigation où les élèves présentent leurs résultats. L'auteure identifie trois rôles discursifs majeurs : rendre accessible les connaissances scientifiques associées à leur démarche, valoriser et améliorer le travail présenté, et permettre la construction d'apprentissages et de concepts. Selon elle, ces aspects élargissent et enrichissent de manière considérable la pratique des enseignants par rapport aux « *longs monologues traditionnels* » dans lesquels la construction des connaissances n'est pas impulsée par les interactions. Elle souligne que si les contraintes de temps liées à la nécessité de couvrir un contenu trop large semblent aller à l'encontre du développement de ce type de

pratiques, le temps pris initialement par l'enseignant pour mettre en place ces nouvelles habitudes discursives rend les apprentissages plus confiants et donc plus efficaces par la suite. Nous retenons ici que les habitudes des enseignants sont modifiées par rapport à la gestion traditionnelle du temps dans un cours classique.

4-2 Contraintes et dilemmes

Une seconde orientation introduit le fait que les enseignants des sciences, dans cette nouvelle approche et cette reconsidération des apprentissages, ont à faire face à des contraintes et des dilemmes concernant aussi bien le contenu que la forme préconisés et qui limitent la mise en œuvre de la démarche d'investigation dans leur classe.

Anderson (2002), distingue trois dimensions dans lesquelles s'inscrivent les dilemmes rencontrés par les enseignants quand ils s'engagent dans cette nouvelle forme d'enseignement : technique, politique et culturelle. La première regroupe les difficultés à investir les nouveaux rôles, le changement des outils habituels (autre que le livre), la place de l'évaluation, la gestion et l'efficacité du travail en groupe. La seconde concerne les conséquences du changement face à des attentes plus classiques des parents et des conflits qui peuvent être déclenchés avec des enseignants non-engagés dans ce type de pratiques nouvelles. La dernière aborde l'aspect « éthique » de l'image qu'ont les enseignants de leur mission et qui leur fait ressentir le besoin de « couvrir » un certain nombre de notions jugées indispensables pour passer dans le niveau supérieur.

Roehrig et Luft (2004) ont étudié les enseignants à partir d'observations de leur activité en classe, dans le cadre d'un programme spécifique destiné à favoriser la mise en œuvre de l'enseignement par investigation. Ces analyses ont été complétées par des entretiens permettant d'identifier les conceptions des enseignants sur la nature des sciences et du travail des scientifiques, leur niveau de formation pédagogique et de connaissances scientifiques, afin d'établir des relations avec les difficultés et les points de blocage éventuels. Les auteurs distinguent à partir de leurs analyses trois profils d'enseignants : les investigateurs, bien adaptés aux nouvelles pratiques, les « process-oriented teachers » qui privilégient l'élaboration de protocoles, et les enseignants traditionnels qui pratiquent une pédagogie transmissive. Les auteurs constatent qu'aucun facteur particulier du parcours et de conceptions des enseignants ne peut être mis en relation avec une pratique effective de l'investigation et donc qu'il n'y a pas de prédictions possibles sur l'activité de l'enseignant. Ainsi, un enseignant possédant une bonne compréhension de la nature des sciences et qui a le désir de s'engager dans la pratique de la démarche d'investigation avec ses élèves, peut être aveuglé par le fait qu'il sous estime les capacités d'apprentissage des élèves et s'avérer peu opérationnel dans son activité.

Cette étude montre que les contraintes et les limites rencontrées à la mise en œuvre de la démarche d'investigation au niveau des enseignants relèvent d'un ensemble complexe et singulier pour chaque enseignant. Les auteurs suggèrent la mise en place de formations et d'ateliers souples et ciblés sur des difficultés particulières par groupe d'enseignants concernés pour les atténuer.

Crawford (2007), s'interroge sur ce qui maintient encore une résistance des pratiques en 2007, à partir d'une recherche menée dans un programme mêlant les échanges entre les chercheurs, les enseignants et leurs conseillers pédagogiques pour mettre en œuvre cet forme

d'enseignement. Elle analyse les résultats d'observations et d'entretiens de cinq enseignants et établit notamment un lien entre ce qui est identifié comme résistance ou difficulté à mettre en place une démarche d'investigation dans une classe avec l'absence d'expérience de recherche dans un laboratoire, comme l'ont proposé Roehrig et Luft (2004). Il peut y avoir des conflits de valeurs entre ce que les enseignants ont reçu comme formation et discours sur ce qu'est la science, la recherche scientifique et ces méthodes et la démarche préconisée dans les nouvelles réformes. En revanche, l'article de Crawford contredit celui de Roehrig et Luft sur un point dans la mesure où il accorde une importance fondamentale à l'influence des conceptions des enseignants sur leur pratique, ce qui montre qu'il n'a pas encore de convergence dans ce domaine.

4-3 Accompagnement

Ce dernier aspect concerne les travaux qui s'intéressent à ce que pourrait être un accompagnement des enseignants vers de nouvelles pratiques, leur formation et la mise au point de situations/apprentissage.

Marx et al.(1994) rendent compte ainsi d'une expérience menée dans le cadre d'un dispositif de formation, permettant au enseignant d'exprimer et de faire face à leurs dilemmes dans un environnement approprié qui permet l'échanges entre pairs, la collaboration et l'aide à la réflexion sur les pratiques personnelles. Ce dispositif soutient le changement et l'adaptation aux nouvelles pratiques.

Une recherche de Luft (2001), étudie l'impact du programme de formation IBDC (Inquiry-Based Demonstration Classroom) sur les pratiques effectives de quatorze enseignants qui montre des variations suivant l'expérience des enseignants. Les plus expérimentés montrent une évolution de leurs connaissances et de leurs conceptions sur le travail des scientifiques mais ne modifient quasiment pas leur pratique en classe. Les novices s'adaptent mieux à mettre en pratique la démarche en classe. Cette étude montre la difficulté du changement quand les habitudes sont déjà bien ancrées dans la pratique de l'enseignant même si les évolutions conceptuelles sont bien accueillies lors de la formation.

D'autres auteures (Keys et Bryan, 2001) essayent, à partir de l'analyse d'un ensemble de recherches, de profiler ce que pourrait être une formation à la démarche d'investigation pour les enseignants. Pour elles, l'efficacité de la réforme de l'éducation scientifique repose en grande partie sur leurs épaules et ils doivent être partie prenante de cette mise en œuvre tant dans la conception des activités que dans les changements qu'ils impliquent dans la communauté scolaire. Il leur apparaît essentiel de s'intéresser à ce maillon. Elles observent, en 2001, des écarts à réduire entre les travaux qui concernent la démarche d'investigation sous l'angle théorique et la réalité de la pratique dans les classes qui s'inscrit dans des contextes socioculturels variés. Selon elles, il est important de s'intéresser davantage à des « *formes collaboratives de recherches* » qui intègrent les enseignants et leur pratique sur le terrain. C'est à ce niveau que se place l'accompagnement aux changements de pratiques plus que dans des formations issues des recherches théoriques.

Windschitl (2001) examine ce que la conduite de projet d'investigation par un groupe d'enseignants peut modifier au niveau de leurs conceptions et de leur pratique. Il identifie initialement des conceptions erronées du travail des scientifiques et des confusions entre démarche d'investigation et méthode scientifique, qui sont modifiées au fur et à mesure de la

formation, mais relève que les enseignants qui adaptent les mieux leurs pratiques sont avant tout ceux qui ont eu une expérience de la recherche et du travail en laboratoire. Il observe que « *les enseignants qui ont une vision réaliste de la conduite d'une entreprise d'investigation (sont ceux qui) se battent le plus pour donner du sens et comprendre les contraintes imposées par l'investigation elle-même dans les classes pour les élèves* ».

L'étude de Haefner et Zemba-Saul (2004) est conduite dans le cadre d'un cours de formation innovant qui met les enseignants en situation d'investigation dans un programme intitulé « Enseigner avec les insectes ». Cette formation a pour but de faire identifier par les enseignants eux-mêmes, à partir de la démarche d'investigation qu'ils réalisent, ce qui leur semble important à enseigner et donc à transférer vers des élèves. La recherche suit les enseignants en formation jusqu'à la pratique avec les élèves ainsi que la manière dans les formateurs adaptent cette formation. Des tests pré et post formations sont réalisés chez les enseignants et indiquent une meilleure compréhension de la démarche préconisée. Les auteures pointent la nécessité de reconsidérer la conception de la formation initiale et continue des enseignants pour aller dans le sens du « learning by doing » et d'une réflexion sur la création d'activités ciblées à mettre en œuvre dans ces formations sur ce qui peut être identifié comme apprentissage prioritaire au niveau des élèves.

5-Bilan, observations et perspectives

A la lumière de ce panorama, nous nous rendons compte que la démarche d'investigation est un objet plus défini et cohérent qu'il n'apparaît initialement quand on l'aborde par la lecture des textes institutionnels et des propositions faites aux enseignants.

Il nous semble, à travers l'analyse des publications, que l'hétérogénéité soulignée de sa mise en œuvre dépende notamment du niveau de reconsidération des apprentissages des élèves et du rôle de l'enseignant par chaque communauté scolaire et des différents acteurs (établissements, équipes, administration, parents..).

5-1 Au niveau des apprentissages

Les recherches concernant les apprentissages et les compétences requises montrent un enrichissement possible des capacités et des aptitudes des élèves dans cette forme particulière d'enseignement plus conforme au travail des scientifiques, par rapport à un enseignement traditionnel. Certains soulignent également l'importance de mettre en place des situations favorables et donnent parfois des indications sur les modalités pratiques à considérer comme, par exemple, une gestion très souple des plages de temps à consacrer aux projets et aux différentes activités qui leurs sont liées.

Ces travaux font percevoir également toute la complexité de la conception de situations d'enseignement/apprentissage destinées à faire acquérir ces compétences et même certains questionnements quant à la possibilité réelle d'enseigner de telles compétences, comme par exemple celle de créer des liens entre les îlots de connaissances.

Il serait intéressant d'examiner la question des explicitations, qui apparaissent comme des leviers indispensables à fournir à des moments précis pour permettre l'acquisition des compétences liées « aux domaines de compréhension ». Quels devraient être la nature et le contenu de ces informations à rôle supposé moteur ? Ne circulent-elles pas plutôt dans les

interactions entre pairs, qui semblent déterminantes pour la progression ? Des études sur les informations échangées dans ce type d'interactions et leur effet sur les compétences en sciences nous semblent nécessaires. Nous pensons que la psychologie cognitive, la psycholinguistique et la sociolinguistique pourraient apporter des éléments dans ces domaines.

Se pose également la question des savoirs. Comment les élèves mobilisent-ils des savoirs parcellaires antérieurs au cours de la conduite d'une démarche d'investigation ouverte et identifient-ils les nouveaux savoirs à solliciter pour répondre à leur problème scientifique ?

Quel est le statut du savoir produit par les élèves lors de leurs investigations et comment l'articuler avec le savoir établi ? Si les compétences liées à l'apprentissage peuvent être validées, qu'en est-il des savoirs produits en classe ? Dans quel cadre et par qui peuvent-ils être légitimés ? La démarche d'investigation montre qu'elle rallie la réalité de la recherche scientifique en termes de validation et d'évaluation mais elle pose le problème de la réalisation concrète et celui des responsabilités nouvelles pour l'enseignant qui dépassent largement le rôle qui lui est attribué traditionnellement. Des études sur les savoirs mobilisés et produits par les élèves à partir d'observations et d'analyses précises nous apparaissent comme des préliminaires indispensables.

5-2 Au niveau des pratiques des enseignants

Les principaux travaux concernent la description des pratiques nouvelles et des multiples rôles qu'elles requièrent de la part de l'enseignant, des changements à identifier et à induire par le biais de la formation notamment. Nous constatons qu'ils mettent en avant la complexité du changement de pratiques dans la mise en œuvre de cette démarche. Ce changement semble non seulement dépendre du contexte, de l'expérience et de la formation de l'enseignant mais également de l'appropriation difficile d'une injonction « venue d'en haut » qui rend peu lisible la nature du changement attendu et ne facilite pas l'investissement des enseignants dans le processus.

Certains chercheurs (Crawford ; Barma ; Krajcik *et al.*) s'inscrivent dans le courant des recherches collaboratives qui font participer différents acteurs à une réflexion commune sur la mise en œuvre de la démarche d'investigation. Ils ne cachent pas qu'ils sont également fortement impliqués dans la mise au point, l'implémentation, l'évaluation des curriculums et la formation. On peut souhaiter le développement de recherches dans un contexte moins autarcique.

Les pistes de recherches-actions collaboratives nous apparaissent intéressantes à développer pour induire une mise en œuvre concertée de la démarche d'investigation. Elles sont aussi nécessaires pour comprendre si la « résistance des pratiques » ne relève pas de facteurs non identifiés ou résolument incontournables, ou pour faire remonter des adaptations et des pratiques innovantes et plus pertinentes. On peut néanmoins s'interroger, en France, sur l'existence ou la création possible de tels espaces de recherche dans un contexte peu favorable illustré par exemple par la disparition des Missions Académiques à la Formation des Personnels de L'Education Nationale.

Autres perspectives

La lecture attentive des travaux nous a fait relever quelques éléments qui élargissent notre réflexion.

Démarche d'investigation et curriculums

Nous avons constaté que toutes les publications¹¹ concernant les compétences nécessaires aux apprentissages font référence à des instances institutionnelles (ex : National Science Council). Certaines participent à l'étude de la mise en œuvre du curriculum de leur pays et mentionnent souvent les évaluations qui lui sont associées (ex : Assessment of Performance Unit) ou les standards déterminés pour les qualifications nationales (ex : standard SAS1 of the National Certificate of Educational Achievement). Trois d'entre elles indiquent qu'elles sont financées par la National Science Foundation (Wu et Krajcik, Krajcik et al., Wu et Hsieh), une autre par le CNPq (Gomez, Borges et Justi).

Dans ce contexte institutionnel, il nous apparaît intéressant d'étudier sous l'angle des études curriculaires le « produit démarche d'investigation » puis, en convoquant la sociologie, d'examiner les changements qu'il souhaite induire dans la société occidentale.

Démarche d'investigation et EIST

Dans certaines de ces recherches (Krajcik *et al.* ; Trani Gomez, Tarsico Borges et Justi), les auteurs mentionnent dans le cadre théorique qu'ils mobilisent, l'opposition de deux modèles d'enseignement, décrits par Schauble, Klopfer et Raghavan (1991) faisant intervenir l'expérimentation : l'« engineering model » dont le but est l'atteinte et la réalisation de l'objectif et le « science model » dont le but est de comprendre les relations de causes à effets. Ils inscrivent la démarche d'investigation dans le second modèle. Nous avons considéré cette observation comme un indice pouvant expliquer pourquoi nous avons trouvé peu de recherches s'intéressant aux activités techniques qui relèveraient sans doute du premier modèle. Nous n'avons pas trouvé de recherches sur les compétences relatives aux gestes et à l'habileté manuelle alors que la capacité de manipulation est indiquée dans le schéma de Millar. Cette lacune indique-t-elle encore une séparation marquée entre la science et la technique avec un moindre intérêt pour ce domaine de compétences ?

On peut se demander si des recherches dans le cadre de l'EIST lors de la réalisation d'une démarche d'investigation ne pourraient pas combler cette lacune. Il serait également intéressant d'observer, au niveau des pratiques des enseignants d'EIST, comment ceux dont les disciplines d'origine sont scientifiques investissent ce domaine des apprentissages et, au contraire, comment l'enseignant de technologie investit les domaines relatifs à la compréhension.

¹¹ Nous avons remarqué que ces publications sont très bien diffusées et qu'elles ont été les plus accessibles dans notre recherche (en terme rapidité d'identification et de délai d'obtention).

Conclusion :

En résumé, si l'ensemble des travaux auxquels nous avons pu accéder couvrent certaines facettes des apprentissages et des pratiques des enseignants dans le cadre de l'enseignement scientifique par démarche d'investigation, d'autres facettes restent à explorer. L'état de la recherche sur la question de cette mise en œuvre nous a amenée à identifier de nouvelles problématiques qui peuvent s'articuler avec d'autres champs disciplinaires comme la psychologie cognitive, les études curriculaires, la sociolinguistique, la psycholinguistique ainsi que la sociologie.

Nous constatons, sur ces questions, la difficulté pour le didacticien de conduire des recherches et des démarches qui supposent de maîtriser une culture plus large que celle des savoirs dont il est plus spécifiquement porteur.

Nous relevons également la nécessité que la position du chercheur, son implication éventuelle dans le réseau des instances institutionnelles ainsi que ses financements soient mentionnés afin de rendre encore plus lisibles les recherches à venir sur la démarche d'investigation.

Bibliographie (articles et ouvrages consultés)

ABD-EL- KHADICK F., BOUJAOUDE, S., DUSCHL, R., LEDERMAN, N.G, MAMLOK-NANNMAN, R., HOFSTEIN, A., NIAZ M., TREAGUST, D. & TUAN H. L., (2004). Inquiry in Science Education: International Perspective. *Science Education*, 88, 394-419.

ANDERSON, R.D. (1998). Reforming science teaching: what research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1-12.

ASTOLFI, J-P., (1985). *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris : INRP.

BARMA S. (2008). *Un contexte de renouvellement de pratiques en éducation aux sciences et aux technologies : une étude de cas réalisée sous l'angle de la théorie de l'activité*. Thèse (Ph.D.) : Université de Laval, Québec. 336 pages.

BEAUFILS D., LARCHER C. (1999). L'expérimental dans la classe. *Aster* 28, 3-8.

COQUIDE, M., BOURGEOIS-VICTOR, P. & DESBAUX-SALVIAT, B. (1999). « Résistance au réel » dans les pratiques expérimentales. *Aster* 28, 57-77.

CRAWFORD, A.B. (2000). Embracing the essence of inquiry: new roles for science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), 916-937.

CRAWFORD, A.B. (2007). Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44 (4), 613–642.

DRIVER, R., OLDHAM V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Educatio*., 13,105-122.

DRIVER, R. (1989). The construction of scientific knowledge in school classrooms. R. Miller (Ed). *Doing science: Images of science in science education*. New-York: Farmer Press.

GIL-PEREZ, D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique. *Aster* 42, 41-64.

GRANDY R., DUSCHL, R.A. (2007). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: analysis of a conference. *Science & Education*, 16, 141-146.

HAEFNER A. L., ZEMBAL-SAUL C. (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.

HMELO-SILVER C., DUNCAN R.G. & CHINN C.A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: a response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107.

HUME A., COL, R. (2008). Student experiences of carrying out a practical science investigation under direction. *International Journal of Science Education* 30(9), 1201–1228.

KEYS, C.W., BRYAN L.A. (2001). Co-constructing inquiry-based science with teachers: essential research from the lasting reform. *Journal of Research in Science teaching*, 38 (6) 631-645.

KIRSCHNER P.A. , SWELLER J., & CLARK R.E (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.

KRAJCIK, J.S., BLUMENFELD, P. C., MARX, R. W., BASS, K. M., FREDERICKS J., & SOLOWAY, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(34), 313-350.

LACOMBE, G. (1989). Prendre le bâton de l'expérience. *Aster* 8, 17-27.

LUFT A.J. (2001). Changing inquiry practices and beliefs: the impact of an inquiry-based professional development programme on beginning and experienced secondary science teachers. *International Journal of Science Education* 23(5), 517- 534.

MARX, R.W., BLUMENFELD, P.C. KRAJCIK, J.S., BLUNK, M., CRAWFORD, B., KELLY, B., & MEYER, K.M (1994). Enacting project-based science: experiences of four middle grade teachers. *The Elementary School Journal*, 94 (5), 517-538.

MATHE, S., MEHEUT, M. & De HOSSON, C. (2008). Démarche d'investigation au collège, quels enjeux ? *Didaskalia*, 32, 41-77.

MILLAR, R. (1996). Investigation des élèves en sciences: une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, 9, 9-30.

OH P.S. (2005). Discursive roles of the teacher during class sessions for students presenting their science investigations. *International Journal of Science Education*, 27(15), 1825–1851.

OSBORNE, J. (2007). Science Education for the twenty first century. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(3), 178-184.

REID N., YANG M.J. (2002). Open-ended problem solving in school chemistry: a preliminary investigation . *International Journal of Science Education*, 24(2), 1313–1332.

ROBERT, A. et ROGALSKI, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *La Revue canadienne de l'enseignement des sciences des mathématiques et des technologies*, octobre 2002, 505-528.

ROCARD, M., CSERMELY, P., JORDE, D., LENZEN, D., WALBERG-HENRIKSSON, H., and HEMMO, V. (2007). Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe: European Commission. Bruxelles.

- ROEHRIG G.H., LUFT J.L. (2004). Constraints experienced by beginning secondary science teachers in implementing scientific inquiry lessons. *International Journal of Science Education*, (26-1), 3–24.
- ROTH K. et GARNIER, H. (2007). What science teaching looks like: an international perspective. *Educational Leadership*. 64(4), 16-23.
- RUTHERFORD, F. J. (1964). The role of inquiry in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*,. 2, 80–84.
- SCHNEEBERGER, P., RODRIGUEZ, R. (1999). Des lycéens face à une investigation à caractère expérimental : un exemple en première S. *Aster*, 28, 79-105.
- SCHWARTZ, R., LEDERMAN N. G., CRAWFORD B.A, (2003). Developing views of Nature of Science in an authentic context : an explicit approach to bridging the gap between Nature of Science and Scientific Inquiry. *Science Teacher Education*, 88(4) 610-645.
- TOMKINS S.P., TUNNICLIFFE S.D. (2002). Looking for ideas: observation, interpretation and hypothesis-making by 12-year-old pupils undertaking science investigations *International Journal of Science Education*, 23 (8), 791- 813.
- TOPLIS R.,(2007). Evaluating science investigations at Ages 14-16: dealing with anomalous results. *International Journal of Science Education*. 29(2), 127-150.
- TRANI GOMES A.D., A. TARCISO BORGES A. et JUSTI R. (2008). Students' performance in investigative activity and their understanding of activity aims. *International Journal of Science Education* 30(1), 109–135.
- VERIN, A. (1993). Des modèles pédagogiques pour quelles finalités de l'enseignement scientifique. *Aster*17, 2-12.
- WATSON R.J., SWAIN J.R.L & McROBBIE C. (2004). Students' discussions in practical scientific inquiries. *International Journal of Science Education*, 26(1), 25–45.
- WELSCH, W.W., KLOPFER, L.E., AIKENHEAD, G.S. & ROBINSON, J.T. (1981). The role of inquiry in science education: analysis and recommendations. *Science Education*, 65, 33-50.
- WINDSCHITL, M. (2003). Inquiry projects in Science teacher education: what can 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*, 92(5), 942-967.
- 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.

WU, H.K., KRAJCIK, J. S. (2006). Inscriptional practices in two inquiry-based classrooms: a case study of seventh graders' use of data tables and graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(1), 63-95.

Référence utilisée, mentionnée dans des articles mais non consultée.

SCHAUBLE, L., KLOPFER, L.E., & RAGHAVAN, K. (1991). Student's transitions from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 859-882.

Références institutionnelles

AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (1989). *Science for All Americans. Project 2061* (New-York: Oxford University Press).

COUNCIL OF MINISTERS OF EDUCATION (1997). *Pan Canadian Science Project 1997. Common framework of science learning outcomes* <http://www.cmec.ca/science/v0201en.htm>

ACADEMIE DES SCIENCES (2006) Guide d'accompagnement de l'EIST <http://science-techno-college.net/?page=134>

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE (2001). Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale Hors Série 2001

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE (2008). Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale n°6 du 28 août 2008

MINISTRY OF EDUCATION (1993) *Science in the New Zealand Curriculum* (Wellington: Learning Media).

MINISTRY OF EDUCATION (2008) *English National Curriculum*. <http://curriculum.qca.org.uk/>

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards* (Washington: National Academy Press).

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards* (Washington: National Academy Press).

OCDE (2001). *Programme for International Student Assessment* (Paris: OCDE).

GOUVERNEMENT DU QUEBEC (2001). *Prendre le virage du succès : réaffirmer l'école*. <http://www.mels.gouv.qc.ca/reforme/reforme.htm>

