

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

ESSAI PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAITRISE EN ENSEIGNEMENT

PAR
CARL LATULIPPE

ENSEIGNER LES SCIENCES EN CONTEXTE AUTHENTIQUE PAR
L'INVESTIGATION : INFLUENCE DE LA POSTURE ÉPISTÉMOLOGIQUE DE
L'ENSEIGNANT SUR LA TRANSPOSITION DIDACTIQUE DE LA DÉMARCHE
EXPÉRIMENTALE

NOVEMBRE 2017

« On n'apprend bien que ce qui répond aux questions que l'on se pose »

Jean-Jacques Rousseau : Émile ou De l'éducation (1762)

REMERCIEMENTS

Confondant maintenant l'aube et le crépuscule, cet essai constitue l'aboutissement d'une démarche de formation à l'enseignement de la science et technologie de plusieurs années parsemées d'expériences enrichissantes et de défis. Ces derniers ont été relevés grâce à l'appui de plusieurs personnes.

Je tiens à remercier les acteurs scolaires qui ont accepté de me prendre sous leur aile. D'abord, mon directeur de recherche, M. Ghislain Samson, toujours disponible, m'a éclairé judicieusement et a certainement adouci quelques rugosités par ses conseils pertinents. Je reconnais également l'immense contribution de M. Yvon Duguay de l'*Académie les Estacades* et de M. Alain Nadeau de l'*École secondaire Le Tremplin*. Ces deux enseignants associés dévoués m'ont dirigé de main de maître.

Je tiens également à dire *un merci* sincère, spécialement ma compagne de vie Ève-Lyne Croteau, pour son soutien indéfectible lors des moments difficiles. Son optimisme constant a été essentiel dans le maintien d'un bon moral. Je n'oublierai évidemment pas le support de mes amis et de ma famille. Je conserve vos mots d'encouragement chaleureux précieusement. Enfin, mes remerciements ne vont pas à M. Mark Zuckerberg qui m'a fait perdre beaucoup trop de temps.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	iii
TABLE DES MATIÈRES	iv
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES ABBRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES	ix
ACRONYMES	ix
RÉSUMÉ.....	xi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I.....	5
LA PROBLÉMATIQUE.....	5
1.1 La mise en contexte	5
1.1.1 Une demande pour la transférabilité des connaissances et des valeurs	7
1.2 Des problèmes engendrés par les pratiques enseignantes actuelles	8
1.2.1 Les activités expérimentales vécues en classe	9
1.2.2 Les vertus attribuées aux expérimentations <i>fermées</i>	14
1.3 Le besoin d'authenticité	19
1.4 Les questions générales	20
.....	22
CHAPITRE II.....	23
LE CADRE THÉORIQUE ET CONCEPTUEL.....	23
2.1 Les pratiques en sciences expérimentales à transposer en classe	23
2.1.1 Les savoirs construits, une évolution épistémologique.....	26
2.1.2 Du problème origine l'expérimentation scientifique.....	34
2.1.3 La réfutabilité de l'hypothèse, un critère de scientificité.....	36
2.1.4 Les sciences buissonnantes et les tâtonnements du chercheur	39
2.1.5 Les chercheurs sociaux et intéressés.....	43
2.2 Le rapport entre la posture épistémologique de l'enseignant et son choix	
d'approche pédagogique/didactique	46
2.2.1 La posture épistémologique.....	46
2.2.2 Le rapport entre la posture et l'approche pédagogique/didactique.....	47
2.2.3 La liberté d'action des élèves lors d'expérimentations.....	52
2.3 Un enseignement scientifique fondé sur l'investigation	54

2.3.1 Un cadre général socioconstructiviste.....	55
2.3.2 Une approche authentique.....	56
2.3.3 La nécessité de l'expérience.....	60
2.3.4 La variété des démarches.....	63
2.3.5 Le choix enseignant et les contraintes d'application.....	65
2.4 Les objectifs.....	70
CHAPITRE III.....	72
LA MÉTHODOLOGIE.....	72
3.1 La situation.....	72
3.1.1 Les apprenants.....	73
3.1.2 Le choix du dispositif.....	73
3.2 L'analyse.....	75
3.2.1 Les critères d'authenticité du dispositif.....	75
3.2.2 L'influence de la posture épistémologique de l'enseignant sur son choix de dispositif lors d'expérimentations.....	77
3.2.3 La validité du dispositif pour un ESFI.....	77
3.2.4 Une analyse <i>a posteriori</i>	78
CHAPITRE IV.....	80
LES RÉSULTATS, L'INTERPRÉTATION ET LA DISCUSSION.....	80
4.1 Le problème en tant qu'instrument de création de savoirs scientifiques.....	80
4.1.1 L'origine de l'expérimentation : de l'observation optimale au problème travaillé et approprié.....	83
4.2 La logique hypothéticodéductive.....	88
4.2.1 Le rôle attribué à l'expérience.....	89
4.3 L'ouverture aux possibles de la démarche.....	96
4.3.1 Une méthode linéaire et causale.....	99
4.3.2 Une démarche buissonnante avec tâtonnements.....	102
4.4 La dimension collective du travail scientifique.....	105
4.4.1 La coconstruction par la communication.....	107
4.5 La validité de la SAÉ pour un ESFI.....	110
4.5.1 La typologie du dispositif.....	110
4.5.2 Un choix dépendant de l'objectif de formation.....	115
4.6 Des pistes d'amélioration du dispositif.....	118
CHAPITRE V.....	125
UN REGARD CRITIQUE SUR L'INTERVENTION.....	125
5.1 L'intervention telle que vécue durant le stage.....	125

5.2 Pour un ESFI, certains pièges à éviter	128
5.3 La synthèse	131
CONCLUSION	137
RÉFÉRENCES	139
APPENDICE A	151
FICHE DE LABORATOIRE SCIENTIFIQUE (voir le document annexé à l'essai).....	151
<i>L'effet de serre</i>	151
APPENDICE B	152
SITUATION D'APPRENTISSAGE ET D'ÉVALUATION (voir le document annexé à l'essai)	152
<i>Le confort au foyer</i>	152

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Catégorisation des expérimentations scolaires par niveau d'ouverture en fonction des parties d'expérience réalisées par les élèves.....	11
Tableau 2. Comparaison des caractéristiques des paradigmes épistémologiques en sciences.....	28
Tableau 3. Comparaison des démarches préconisées historiquement par les scientifiques selon le paradigme épistémologique.....	30
Tableau 4. Grille d'analyse de la présence d'activités propres à la démarche scientifique.....	76

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Problématique	22
Figure 2. Logique d'analyse.....	79
Figure 3. Méthode expérimentale OHERIC.....	101
Figure 4. Démarche expérimentale DiPHTeRIC	104

LISTE DES ABBRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

AAAS	<i>American association for the Advancement of Science</i>
AST	Alphabétisation scientifique et technique
DiPHTeRIC	Données initiales → Problème(s) → Hypothèse(s) → Test(s) expérimental(aux) → Résultat(s) → Interprétation → Conclusion(s)
DPHTRIC	Donnée(s) → Problème(s) → Hypothèse(s) → Test expérimental(aux) → Résultat(s) → Interprétation → Conclusion(s)
ESFI	Enseignement(s) scientifique(s) fondé(s) sur l'investigation
MÉES	Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur
MÉLS	Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport
NOS	<i>Nature of science</i>
NRC	<i>National Research Council</i>
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OHERIC	Observation(s) → Hypothèse(s) → Expérimentation(s) → Résultat(s) → Interprétation → Conclusion(s)
OPAC	Observation(s) → Problème(s) → Activité(s) → Conclusion(s)
OPHERIC	Observation(s) → Problème(s) → Hypothèse(s) → Expérimentation(s) → Résultat(s) → Interprétation → Conclusion(s)
PISA	<i>Programme for International Student Assessment</i>
PFEQ	Programme de formation de l'école québécoise
PHERIC	Problème(s) → Hypothèse(s) → Expérimentation(s) → Résultat(s) → Interprétation → Conclusion(s)

PH(TR)I	Problème(s) → Hypothèse(s) → Test(s) → Résultat(s) → Interprétation
S&T	Science et technologie
SAÉ	Situation d'apprentissage et d'évaluation
STE	Science et technologie de l'environnement
THEORIC	Théorie → Hypothèse(s) → Expérimentation(s) → Observation(s) → Résultat(s) → Interprétation → Conclusion(s)
UNESCO	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

RÉSUMÉ

Le déploiement significatif dans d'autres contextes des connaissances que les élèves acquièrent dans le cours de science et technologie au secondaire passe par la compréhension de la nature de l'entreprise scientifique. Malheureusement, les activités expérimentales pré formatées et hautement cadrées, telles que majoritairement vécues à l'école, ne permettent pas d'atteindre ce but. Pour développer cette compréhension, l'apprenant doit être mis dans une situation qui reflète une véritable démarche d'un chercheur scientifique.

Dans un premier temps, nous identifions les caractéristiques principales des pratiques en sciences expérimentales à transposer en classe. L'enseignant constituant un vecteur essentiel entre le savoir et l'élève, nous explorons aussi le rapport entre l'idée qu'il se fait des sciences et son choix d'approche pédagogique et didactique lors d'expérimentations. Nous présentons également une approche qui tient compte des caractéristiques identifiées et des avancées récentes concernant les processus d'apprentissage, à savoir *l'enseignement scientifique fondé sur l'investigation*.

Par la suite, nous étudions dans quelle mesure une situation d'apprentissage et d'évaluation (SAÉ) typique, qui a été utilisée durant un deuxième stage en enseignement, offre le soutien nécessaire pour l'enseignant désirant opter pour cette approche qui plonge

l'élève dans des démarches complexes. Pour ce faire, nous examinons plus spécifiquement si les caractéristiques de pratiques scientifiques sont retrouvées dans ce dispositif et nous expliquons l'influence des conceptions de l'enseignant sur son choix d'activités expérimentales par une discussion théorique. Les résultats montrent que le dispositif sélectionné est basé sur une démarche hypothéticodéductive relativement cadrée, où l'identification et la description du problème par les élèves sont insuffisantes et où la dimension collective du travail scientifique est complètement absente. Des recommandations d'améliorations de l'outil allant évidemment dans cette direction sont formulées.

Enfin, nous effectuons un retour critique de l'intervention mise en œuvre durant le stage où nous soulevons que certaines difficultés rencontrées auraient possiblement été évitées par une transformation de la SAÉ. En lien avec l'analyse déployée, nous émettons l'hypothèse qu'une problématisation aurait contribué à hausser l'implication des élèves. De plus, considérant que les tâches ont dû être adaptées, nous suggérons finalement d'augmenter le niveau de difficulté progressivement pendant l'année scolaire.

INTRODUCTION

Sans comprendre les postulats de la connaissance et les processus par lesquels elle est créée, l'apprenant ne peut guère faire plus que construire une image des sciences constituée de faits isolés sans contexte qui rendent le savoir inapplicable et moins pertinent. Les efforts de réformes solaires dans le monde mettent l'accent sur l'importance pour les élèves de développer une conception des sciences¹ représentative des pratiques scientifiques. L'importance est claire, mais les moyens d'atteindre cet objectif le sont moins.

Récemment, la résolution de problèmes scientifiques par des démarches axées sur l'investigation est promue comme un moyen, à la fois d'améliorer et d'utiliser les liens entre l'apprentissage conceptuel et procédural, et de relier le processus à une compréhension de la nature de l'entreprise scientifique. L'idée est de s'inspirer des activités réelles des chercheurs et de les transposer en classe en faisant vivre aux élèves des situations de recherche dites *authentiques*. Le travail pratique y est conçu, non seulement comme un outil de support aux notions conceptuelles, mais aussi comme un objectif à part entière dans un contexte de développement de compétences.

¹ La science (au singulier) est un terme qui désigne fréquemment les sciences expérimentales, comme employé par le ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur (MÉES) pour décrire le cours de science et technologie au secondaire. On tend actuellement toutefois à séparer les champs disciplinaires. Par exemple, les sciences de la nature peuvent être scindées en biologie, physique, chimie, etc. Dans cet essai, nous défendons une posture épistémologique socioconstructiviste qui rejette sensiblement une vision universelle. Considérant que parler de *la science* pourrait renvoyer à une unité des activités scientifiques, nous parlerons plutôt *des sciences*.

Évidemment, les sciences expérimentales impliquent plus que des méthodologies. Lors d'une maîtrise précédente en sciences animales où j'ai mené à terme toutes les étapes d'une recherche scientifique, j'ai été à même de le constater. Cette expérience antérieure m'a également permis de remarquer, durant quelques années de suppléance et ensuite pendant mes deux stages de cette présente maîtrise qualifiante en enseignement, la distorsion qui s'opère dans une foule d'écoles. Il me paraît incontestable que faire des sciences, pour les élèves, devrait comprendre plus que l'exécution d'un protocole déjà formaté au laboratoire. Hélas, bien qu'une multitude de recherches pointent les bienfaits de l'approche fondée sur l'investigation, des conversations avec des collègues et mes deux enseignants associés de stage me confirment que celle-ci ne semble pas être largement pratiquée en science et technologie (S&T) au secondaire au Québec. Malgré les fonctions pédagogiques et didactiques qui semblent déficitaires, les travaux pratiques sous forme de *laboratoires fermés* relèvent avant tout de contraintes personnelles et externes qui poussent les enseignants dans cette voie. Cette situation conflictuelle, entre les fruits de la recherche récente en éducation qui recommande une certaine expression authentique de l'activité scientifique en classe et les pratiques actuelles, entraîne chez moi, et sans doute aussi chez d'autres enseignants, un sentiment de défi professionnel.

Par ailleurs, mes observations en milieu scolaire m'ont fait remarquer que beaucoup d'enseignants dégagent une attitude plus ou moins critique face aux sciences, effleurant parfois le dogmatisme. Puisque ceux-ci représentent un rouage indispensable entre la pratique du chercheur à transposer en classe et l'activité proposée aux élèves, et

que la démarche à faire vivre est inéluctablement dépendante de l'interprétation qu'ils en ont, je m'interroge sur leurs idées des sciences et de l'élaboration des savoirs scientifiques. En guise de recherche de causes, cet essai étudie donc les liens qui peuvent exister entre ces conceptions et les stratégies d'enseignement d'une démarche expérimentale que les enseignants mettent en œuvre.

Dans le cadre du deuxième stage, j'ai fait des recherches de dispositifs à proposer à mes élèves qui seraient à la fois basés sur une épistémologie contemporaine et en phase avec les recommandations soutenues par les avancées en psychologie cognitive concernant les processus d'apprentissage. J'en ai choisi un, et sa réalisation en classe a été plutôt décevante. Nous questionnons donc la disponibilité de tels dispositifs prêts à être utilisés et à soutenir les enseignants.

Ainsi, le premier chapitre expose la problématique et s'intéresse aux méthodes enseignantes actuelles en S&T au secondaire et la nécessité d'une amélioration des travaux pratiques. Le cadre théorique et conceptuel traite ensuite de la nature de l'entreprise scientifique, du rapport entre la posture épistémologique de l'enseignant et son choix d'approche pédagogique et didactique, et du cadre général d'une approche considérée comme authentique : l'enseignement scientifique fondé sur l'investigation. Par la suite, la méthodologie présente un dispositif pédagogique mis en œuvre lors du deuxième stage ainsi que les critères d'analyse retenus. Le quatrième chapitre concerne les résultats, l'interprétation et la discussion. Ces éléments sont envisagés selon quatre

thèmes principaux regroupant différents critères d'authenticité. Une discussion émanant de cette portion interprétative y est articulée. Le cinquième chapitre évalue l'intervention vécue eu égard aux concepts pédagogiques et didactiques discutés. Puis, des recommandations s'adressant aux enseignants désirant intégrer une approche nommée *enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation* viennent compléter cet essai.

CHAPITRE I

LA PROBLÉMATIQUE

Ce chapitre explore le contexte éducatif général lié aux enjeux pédagogiques et didactiques de cet essai. Par la suite, des problèmes engendrés par les pratiques d'enseignement actuelles en S&T au secondaire sont soulevés. Enfin, un besoin d'authenticité des activités expérimentales scolaires est justifié.

1.1 La mise en contexte

Sous l'influence de la recherche, nous pouvons constater une évolution des finalités de l'enseignement de la S&T depuis plusieurs décennies. Pourtant, au tournant des années 2000, l'enseignement était encore *trop* magistral, la vision des sciences transmises était encore dogmatique et elle tenait peu compte des réalités sociales et culturelles des élèves (Barma, 2007; Coquidé, Bourgeois-Victor, et Desbeaux-Salviat, 1999; Eurydice, 2006; Fourez, 2002b; Giordan et Girault, 1994; Hofstein et Lunetta, 2004; Lyons, 2006; Millar, 2010; Psillos et Niedderer, 2002; Séré *et al.*, 1998; Singer, Hilton, et Schweingruber, 2005; Tiberghien, Veillard, Le Maréchal, Buty, et Millar, 2001). Les élèves disposaient de peu de repères efficaces pour comprendre et intervenir sur le monde dans lequel ils vivaient (Barma, 2007). Il est aujourd'hui largement admis par les

institutions officielles que l'éducation scientifique devrait chercher à développer, en plus des connaissances disciplinaires, la compréhension par les élèves de l'entreprise scientifique elle-même, des méthodes utilisées pour générer et tester des revendications de connaissances, etc. On parle généralement de *compréhension de la nature des sciences*². Or, il semblerait que les élèves n'arrivaient pas à en comprendre les éléments clés uniquement en apprenant le contenu disciplinaire ou les processus. Un effort concerté de la part des éducateurs scientifiques et des enseignants pour guider explicitement les apprenants dans leurs efforts pour développer une compréhension appropriée de la nature de l'entreprise scientifique était essentiel. Ont ainsi émergé des principes précurseurs du programme actuel de S&T au Québec, soit :

En faisant des liens entre la science, la technologie et la société, en abordant l'histoire des sciences et en favorisant l'accès à des activités de laboratoire [...] De plus, on souhaitait alors impliquer plus activement les élèves dans la construction de leurs connaissances et leur faire prendre conscience de la dimension historique et sociale de cette construction (Barma, 2007, p. 119)

Il ne s'agit maintenant plus simplement de préparer de futurs scientifiques chercheurs ou ingénieurs, mais aussi de former des citoyens capables d'agir. Fourez (2002a) précise que l'enseignement de la S&T doit s'ancrer par ce qu'il appelle *l'alphabétisation scientifique et technique* (AST). Il s'agit de :

La capacité de se construire dans une société scientifico-technique un champ d'autonomie, de communication et de négociation avec son environnement. L'autonomie ici mentionnée est le contraire d'une attitude de pure soumission à la recette, à la prescription ou à l'expert (p. 198)

² Vaste mouvement mondial dans le monde anglo-saxon *Nature Of Science* (NOS).

« Être scientifico-techniquement alphabétisé suppose qu'on puisse se construire des représentations, des modèles scientifiques et réinvestir ses acquis dans la résolution de problèmes que l'on peut rencontrer dans sa vie de tous les jours » (Barma, 2007, p. 113). En ce sens, le curriculum précise aujourd'hui qu'il ne suffit pas de favoriser l'apprentissage de connaissances scientifiques et le développement d'habiletés manipulatoires, mais qu'il faut également faire développer une image réelle et représentative des sciences et de ses méthodes (Gouvernement du Québec, 2007).

1.1.1 Une demande pour la transférabilité des connaissances et des valeurs

S'appuyant sur une vision utilitariste selon laquelle l'école est faite pour préparer à la vie, il est légitime de souhaiter que les connaissances acquises soient utilisables dans d'autres contextes (Samson, 2004). La question du transfert, c'est-à-dire le déplacement de la connaissance du lieu de sa construction au lieu de son usage, alimente souvent les critiques de l'école :

Une bonne partie des connaissances que les élèves assimilent ne serait utilisable que dans le contexte même de leur apprentissage, autrement dit à l'école, voire dans la même classe. Dans un autre contexte, les élèves se comporteraient « comme s'ils n'avaient rien appris » (Perrenoud, 2002, p. 45)

Plusieurs écrits soulèvent que de nombreux élèves, sont souvent incapables d'appliquer de manière significative les connaissances qu'ils acquièrent à l'école en contexte professionnel (Caramazza, McCloskey, et Green, 1981; Halloun et Hestenes, 1985). Il en va de même pour les valeurs curriculaires telles que l'engagement, l'autonomie, la rigueur, le respect et l'effort (Samson, 2009). Cette incapacité à appliquer le savoir et les valeurs

a été attribuée à la nature de la connaissance située (Brown, Collins, et Duguid, 1989). Ainsi, il ne faut pas s'attendre à ce que le transfert apparaisse spontanément. L'enseignant doit créer des *situations de transfert*, exercer la décontextualisation et la recontextualisation des savoirs, développer une *intention de transfert*, une posture métacognitive favorable, voire une *culture du transfert* (Perrenoud, 2002). L'enseignant est donc sans cesse confronté à la difficulté de choisir les activités, les démarches, les situations qui amènent l'élève à apprendre et à réutiliser les connaissances acquises (Tardif, 1992). Par ailleurs, il n'y a évidemment aucune raison de limiter les apprentissages qu'à des savoir-faire. Toute connaissance qui permet d'opérer sur le réel et *comprendre le monde* est également une façon de le faire. Ainsi, il ne faut pas opposer *l'utilité* et le développement *du sens critique* que devrait faire naître un enseignement de S&T bien compris. En contexte de qualification et d'instruction aux sciences par les sciences, pour l'enseignant, la question est de savoir sélectionner l'objet à faire apprendre et à faire développer et, surtout, déterminer comment arriver à le faire.

1.2 Des problèmes engendrés par les pratiques enseignantes actuelles

Contrairement aux clichés du chercheur méthodique en sarrau blanc, les recherches en sociologie des sciences des trente dernières années montrent une représentation des sciences et des chercheurs bien différente (Désautels, 2007; Latour, Woolgar, et Biezunski, 1988). En analysant attentivement les pratiques dans les laboratoires scientifiques, les sociologues n'ont pas repéré la moindre trace de l'esprit ou

de « la » méthode scientifique, pas de chercheur idéalisé, pas de travaux autonomes et exorbités de la société où un chercheur vérifie la validité d'une loi en confrontant son modèle expérimental au modèle théorique tombé des cieux, calculant au passage un pourcentage d'écart. Pourtant, cette méthode reste préconisée durant les séances expérimentales des cours de S&T, physique et chimie au secondaire. Au premier abord, cette stratégie ne semble de ce fait pas très représentative des pratiques des chercheurs en sciences expérimentales.

1.2.1 Les activités expérimentales vécues en classe

Étant donné qu'une convergence évidente des visées éducatives des travaux pratiques et des modalités pédagogiques existe avec ce qui est vécu au Québec, et que la mise en œuvre du nouveau programme de S&T du secondaire au Québec depuis 2005 se fait dans un contexte plus large de réformes curriculaires en Occident, nous pouvons faire un parallèle valide et fidèle entre les constats de ces pratiques des deux côtés de l'Atlantique et notre système d'éducation³.

Premièrement, les activités expérimentales sont vécues sous forme de séances de travaux pratiques (souvent appelés *laboratoires*) d'une durée moyenne de 75 minutes par semaine qui sont peu intégrées aux autres activités d'enseignement. Tout comme Singer

³ En référence à de larges études qui rapportent la situation de l'enseignement de la S&T à l'école secondaire, dont deux remises à la commission européenne (Eurydice, 2006; Séré *et al.*, 1998) et une autre au *National Research Council* américain (Singer *et al.*, 2005).

et al. (2005) aux États-Unis, Vincent, Garnier et Marinacci (2006) font des constats similaires très exhaustifs à partir du point de vue des enseignants au Québec :

Le plus souvent, l'enseignant privilégie la présentation des notions théoriques à l'ensemble de la classe pour ensuite suggérer des travaux d'application [...] L'invocation fréquente des expressions « présentation théorique » et « applications pratiques » dans les discours relevés laisse voir l'invocation d'une logique centrée sur un arbitrage de « temps à partager » ou de « séquence à respecter », logique qui témoigne d'une optique d'ordonnement des différents modes d'exploration des savoirs, voire même d'opposition entre eux, l'enseignement magistral se préoccupant du « théorique » alors que les exercices d'application relevant du « pratique ». [...] Tout se passe comme si le savoir participait plus du théorique que du pratique, ce dernier mode d'accès à la connaissance pouvant même être délaissé faute de temps (p. 138)

Ainsi, les activités expérimentales sous forme de séances de travaux pratiques récurrentes semblent s'autojustifier et sont majoritairement centrées sur l'action; les élèves manipulent du matériel, des appareils et effectuent des mesures. On assiste à une séparation spatiale et/ou temporelle de l'enseignement des concepts et des expérimentations. Cela est en contradiction avec une approche d'enseignement global par développement de compétences tel que préconisé par les instructions officielles du ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MÉLS) dans le Programme de formation de l'école québécoise (PFEQ) en S&T au secondaire⁴ (Gouvernement du Québec, 2007).

Deuxièmement, pour accomplir la tâche demandée, l'élève doit souvent suivre séquentiellement un protocole de manuel, de *guide de laboratoire* ou d'une fiche de travail pratique, un peu à la manière d'une recette de cuisine (*Cookbook Labs*) (Richoux et

⁴ Dans le cadre de l'évaluation des apprentissages, il est à noter que le bulletin scolaire fait cependant la distinction entre la *théorie* et la *pratique*.

Beaufils, 2005; Singer *et al.*, 2005; Tiberghien *et al.*, 2001). S’attardant à la liberté d’action des élèves et s’appuyant sur les travaux de Schwab et Brandstein en 1962 et de Herron en 1971 (cité dans Cariou, 2010), Woolnough, en 1991, suggère une catégorisation à quatre niveaux des expérimentations scolaires, selon les parties de l’expérience qui sont spécifiées à l’avance (Langlois, 2008). Il propose ainsi une séparation entre des expérimentations dites *fermées* et *ouvertes* souvent retrouvée dans la documentation (tableau 1).

Tableau 1. Catégorisation des expérimentations scolaires par niveau d’ouverture en fonction des parties d’expérience réalisées par les élèves⁵

Parties de l’expérience	Niveau d’ouverture	Expérimentations fermées		Expérimentations ouvertes	
		0	1	2	3
Identifier et décrire l’objet de l’expérience		Enseignant	Enseignant	Enseignant	Élèves
Formuler l’hypothèse de l’expérience		Enseignant	Enseignant	Élèves	Élèves
Élaborer la procédure expérimentale		Enseignant	Enseignant	Élèves	Élèves
Analyser et tirer des conclusions		Enseignant	Élèves	Élèves	Élèves

Au niveau *zéro*, le problème, la méthode et l’interprétation des résultats sont fournis par l’enseignant, tandis que le niveau *trois* est celui de la direction minimale.

⁵ Adapté de Langlois (2008).

Blanchard *et al.* (2010) qualifient les expérimentations de niveau *zéro* de *vérification*, celles de niveau *un* de *structurées*, de niveau *deux* de *guidées* et de niveau *trois* d'*ouvertes*.

Désautels et Larochelle (1993) rapportent des propos critiques d'un élève :

Les cours de sciences sont tous programmés et dessinés d'avance. C'est-à-dire que, lorsqu'on fait une expérience quelconque dans n'importe laquelle des sphères de sciences, nous sommes toujours en face d'une recette ou d'un plan d'expérience que nous devons suivre à la lettre si nous voulons arriver aux résultats escomptés. Cette pratique fait de nous de parfaits petits robots qui sont récompensés par des points sur un bulletin. Je ne pense pas que l'on puisse vraiment appeler cela de la « science » (p. 27)

Même lors de séances où des enseignants affirment utiliser une approche centrée sur une recherche active par investigation, comme recommandé par les instructions ministérielles (Gouvernement du Québec, 2007), c'est plutôt généralement l'application d'un *format de séance* que de réellement *construire une séance* autour d'une problématique qui prévaut :

Ainsi, les phases de formulation de la question, d'hypothèses et de protocoles, quand elles sont présentes, sont ramenées à la portion congrue. [La séance] est centrée sur la manipulation [et] le travail de mobilisation des connaissances n'en fait pas partie (Singer *et al.*, 2005, p. 192)

Cette phase de manipulation est donc malheureusement réduite pour les élèves à suivre le protocole de l'enseignant. Les élèves savent ainsi très bien que les résultats sont connus d'avance par l'enseignant et ils tentent de les obtenir pour avoir la meilleure note possible. Pour ceux qui n'y parviennent pas, la faute est mise sur la qualité des manipulations et l'enseignant s'empresse de donner la — bonne — réponse. Dès 1987, Gohau décrit la manœuvre :

Quand l'expérience donne le résultat espéré, on le guide habilement vers l'interprétation correcte... qu'on lui fait souligner de rouge. Lorsqu'elle offre un autre résultat, on doit bien avouer l'imposture en lui énonçant tout de même la « bonne » conclusion, en lui proposant, dans le meilleur des cas, de comprendre quelles influences secondaires mal fixées ont provoqué le « ratage » (1987, p. 57)

Le travail de l'élève consiste à manœuvrer de façon à retrouver les résultats prévus à l'avance :

Règle générale, la majorité des élèves ne savent pas trop ce dont il est vraiment question et ils se contentent de suivre pas à pas les indications fournies (Nadeau et Désautels, 1984, p. 36)

L'utilisation de cette pédagogie de *la bonne réponse* fait ainsi émerger des comportements tels que mimer ce que fait une autre équipe sans comprendre pourquoi, *regarder sans voir* ou encore maquiller ou forger des résultats (Désautels, 2007, p. 26).

Comme relaté dans plusieurs enquêtes et travaux de revue (Eurydice, 2006; IGEN, 2006; Lyons, 2006; Séré *et al.*, 1998; Singer *et al.*, 2005; Tiberghien *et al.*, 2001), il est clair que les enseignants de S&T au secondaire planifient et utilisent très largement ces expérimentations *fermées*, même si les protocoles et les séances sont envisagés comme étant difficiles à organiser, et même si le maintien de la discipline durant les manipulations prend beaucoup de place parce que « les élèves bougent — soi-disant — trop » (Désautels, 2007). Existe-t-il donc des avantages à planifier les séances comme cela? Comme le choix d'une activité d'enseignement devrait être fait en tout premier lieu dans l'intérêt de l'apprenant, en visant le développement de ses compétences, et que l'acte professionnel d'enseigner devrait se fonder d'abord sur les résultats de recherches, il est légitime

d'examiner l'efficacité pédagogique et didactique de telles pratiques et de se poser la question des apprentissages résultants.

1.2.2 Les vertus attribuées aux expérimentations *fermées*

De nombreux mérites sont attribués aux séances expérimentales structurées et dirigées, leur conférant une apparente valeur formatrice. En se référant à plusieurs résultats de recherche, ces visées pédagogiques et didactiques sont endossées par la majorité des enseignants (Richoux et Beaufils, 2005; Séré *et al.*, 1998; Vincent *et al.*, 2006).

D'abord, une meilleure compréhension des démarches utilisées par les scientifiques et le développement d'une expertise à les utiliser sont souvent argués. Plusieurs enseignants ont d'ailleurs estimé que par cette approche, les élèves assimileraient graduellement l'esprit, la méthode ou le raisonnement scientifique et développeraient ainsi une meilleure représentation de la production des savoirs scientifiques (Vincent *et al.*, 2006). Cependant, les rapports officiels présentés précédemment suggèrent que rien n'est plus faux et qu'il est clair que la plupart des données de recherche ne permettent pas de conclure cela (Millar, 2010). Entre autres, les élèves sont incapables d'utiliser les expériences pour développer une compréhension de la manière dont les scientifiques utilisent des preuves expérimentales pour établir des liens réciproques avec la théorie (Millar, 1998). L'incapacité de faire des liens est également

observée dans une étude écossaise de 500 élèves qui conclut qu'ils avaient recours à des observations qualitatives pour évaluer des preuves plutôt que de pouvoir enregistrer et traiter des données, identifier et traiter des variables, et discuter de ces problèmes lors de l'évaluation des résultats (Haigh, France, et Forret, 2005). Il en va de même pour une étude britannique (Driver, Leach, Millar et Scott, 1996) qui indique que peu d'élèves sont capables de revoir leurs explications à la lumière des preuves. Les études réalisées dans le cadre du projet européen *Labwork in Science Education* (Psillos et Niedderer, 2002) montrent aussi cela. Pointant dans le même sens, des évaluations internationales PISA de l'OCDE menées dans les cinquante-sept pays participants en 2003 et 2006 confirment ce déficit. En effet, le résultat de l'évaluation indique que 2,6 % seulement des élèves français atteignent le niveau maximal de l'échelle de l'utilisation de faits scientifiques :

Les élèves de ce niveau sont capables de faire des comparaisons et des distinctions entre des explications concurrentes et d'analyser les faits sur lesquelles elles se basent, et aptes à comprendre que des hypothèses différentes peuvent être formulées sur la base des mêmes faits, confronter des hypothèses concurrentes aux éléments en présence et formuler un argument logique en faveur d'une hypothèse sur base d'éléments provenant de différentes sources (Cariou, 2010, p. 37)

Les acquis pour ce qui est d'une meilleure compréhension des démarches utilisées par les scientifiques et de leur utilisation ne sont donc pas au rendez-vous. Désautels (2007) affirme que ces expérimentations :

Ont peu d'effet sur l'apprentissage d'aspects plus complexes du raisonnement scientifique, telle la capacité de formuler des questions de recherche, de concevoir des dispositifs expérimentaux et de tirer des conclusions ou faire des inférences à partir de données d'observation (p. 24)

Peut-être cela est-il dû à une réflexion insuffisante des élèves, puisque l'on discute rarement des résultats obtenus durant l'expérimentation. Ils n'ont pas assez de temps et d'occasions pour des activités métacognitives (Désautels, 2007).

Ensuite, on entend souvent prétendre que les *laboratoires* contribuent à une meilleure compréhension des concepts théoriques enseignés, parce que les expériences ainsi conduites donneraient une belle occasion aux élèves de confronter les théories et les lois abordées en classe par l'expérience. Cela concrétiserait en quelque sorte le savoir abstrait. Toutefois, puisque la réalisation des manipulations et des mesures occupe une part importante de leur temps, les élèves utilisent très peu les savoirs de référence (Désautels, 2007). La résultante fait consensus; ils sont incapables, dans une large mesure, de faire des liens entre les explications scientifiques théoriques présentées en classe et l'expérimentation (Berry, Mulhall, Gunstone, et Loughran, 1999; Fraser, Giddings, et McRobbie, 1995; Hofstein et Lunetta, 2004; Millar, 2010; Solomon, Scott, et Duveen, 1996). De plus, Langlois (2008) rapporte que les *laboratoires fermés* ne favorisent que faiblement les processus cognitifs tels que le raisonnement et les changements conceptuels. La méthode inductive de vérification de la théorie fréquemment utilisée fait même fi des processus naturels de pensée des élèves qui seraient plutôt basés sur la déduction et la comparaison (Coslin, 2013; Johnson-Laird, 1994). D'ailleurs, Gerstner et Bogner (2009) concluent que l'ajout d'un volet pratique avec paramètres entièrement déterminés n'a pas amélioré les apprentissages à long terme chez 397 élèves. Possiblement en raison du manque d'arrimage *théorie/pratique* étayé précédemment, il est clair que la

plupart des données de recherche ne permettent pas de conclure que les expérimentations *fermées* traditionnelles conduisent à une meilleure compréhension des notions enseignées.

Également, le développement d'habiletés manipulatoires et techniques peut être invoqué pour justifier les séances expérimentales *fermées*. En effet, les élèves sont plus à même d'utiliser l'équipement scientifique et les appareils et d'exécuter des procédures standards si elles ont été enseignées par des méthodes pratiques qui leur ont donné l'occasion de faire ces choses par eux-mêmes (Millar, 2010). Ce n'est guère une découverte surprenante. Nous serions surpris si ce n'était pas le cas. Toutefois, il est ici difficile d'isoler les effets d'une approche *fermée* d'une dite plus *ouverte*. Certes, les élèves développent des habiletés et une connaissance du matériel. Cependant, on peut en questionner la transférabilité hors du cadre de la classe, dans un autre contexte, et ce, obligatoirement par une vision autre que propédeutique.

Enfin, en 1996, un rapport français de l'Inspection générale sur la place de l'expérimental dans l'enseignement de la physique et de la chimie mentionne même, au sujet des activités expérimentales telles que menées habituellement, que :

Leur intérêt n'est pas nul, car elles permettent de fixer le sens des mots et des propositions [...], mais il est très réduit et les élèves, en réalisant de telles expériences, n'apprennent pas grand-chose [...] Qu'on puisse mettre à leur crédit l'acquisition de quelques savoir-faire expérimentaux n'est pas suffisant (Cariou, 2010, p. 41)

En somme, notre analyse montre que les effets de ces activités expérimentales structurées et dirigées sur la compréhension des processus scientifiques et sur les apprentissages en général sont en réalité faibles. L'intégration d'un tel volet *pratique* n'atteint pas ou partiellement les objectifs; les élèves n'assimilent pas mieux les savoirs et ne développent pas mieux non plus les savoir-faire et savoir-être associés à la pensée scientifique et à la démarche expérimentale, pas plus qu'une compréhension épistémologique des sciences favorisant l'esprit critique. Qui plus est, cette pratique d'enseignement fait émerger des comportements chez les élèves qui ne peuvent être souhaitables. L'expérimentation scolaire traditionnellement *fermée* ne s'intègre pas non plus à un réseau social plus vaste, étant, en définitive, un pur produit de l'école et un lieu de mise en scène pédagogique (Roth, McRobbie, Lucas, et Boutonné, 1997).

D'autres effets, négatifs ceux-là, ont souvent été rapportés, tels qu'une baisse de la curiosité, une paresse intellectuelle, une réduction de l'intérêt pour les S&T et pour l'école, une démotivation à poursuivre les études vers une carrière scientifique ou encore le développement d'un rapport au savoir peu émancipatoire⁶.

⁶ En vertu des contraintes inhérentes de notre essai (temps, longueur, etc.), ces sujets ne seront pas développés davantage.

1.3 Le besoin d'authenticité

Une précision s'impose maintenant : cet essai utilise le terme *authentique* pour décrire une transposition en classe qui se veut fidèle et qui s'inspire de façon juste des pratiques des chercheurs en science expérimentale. Face aux problèmes ciblés et à la demande pour la transférabilité des compétences en éducation aux S&T, l'authenticité des activités proposées aux élèves est devenue un cri de ralliement pour l'innovation dans l'éducation :

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 (Boilevin, 2013, p. 38)

L'*American Association for the Advancement of Science* (AAAS, 1994) a identifié que, si la prochaine génération devait devenir scientifiquement alphabétisée, les apprenants devraient s'impliquer activement dans l'exploration de la nature de manière à ressembler à la façon dont les scientifiques eux-mêmes font leur travail. L'activité authentique est importante pour les apprenants, car c'est la seule façon d'accéder au point de vue qui leur permet d'agir de manière significative et à dessein (Edelson, 1998). De nombreux chercheurs en éducation ont adopté l'authenticité comme objectif crucial pour l'apprentissage et le PFEQ tente d'aller dans le même sens.

1.4 Les questions générales

Cet essai a une double visée. Il propose d'abord de déduire le niveau d'authenticité des activités expérimentales vécues en classe de S&T au secondaire par l'étude théorique des pratiques en sciences expérimentales, c'est-à-dire ce que les chercheurs font réellement. Plusieurs mécanismes de l'élaboration des connaissances scientifiques sont, de ce fait, mis en lumière et cela permet de s'appuyer sur des bases solides. Ensuite, comme il est logique de penser que les perceptions et les représentations ont un poids indéniable dans les processus de décision et donc, dans les choix d'activités à faire vivre aux élèves, nous étudions de manière théorique la transposition des pratiques à travers le filtre des croyances de l'enseignant, à savoir par le biais de l'idée qu'il se fait des sciences et du travail des scientifiques. Après avoir éclairci ses interrogations, afin de comprendre le choix du dispositif analysé dans le troisième chapitre, cet essai explore complémentirement en quoi peut consister une approche pédagogique/didactique tenant compte à la fois d'une transposition authentique des pratiques des chercheurs et des avancées récentes en pédagogie et en didactique. Les fondements et le cadre général de réalisation d'une telle approche utilisée en classe de S&T au secondaire sont finalement discutés.

Les questions générales sont :

- 1) Quelles sont les caractéristiques des pratiques en sciences expérimentales à transposer en classe de S&T au secondaire?

- 2) Quel est le rapport entre la posture épistémologique de l'enseignant de S&T et son choix d'approche pédagogique/didactique lors d'expérimentations?

À terme, cette étude vise l'amélioration des capacités des élèves à mobiliser les connaissances dans des situations différentes par l'emploi de dispositifs pédagogiques qui développent le raisonnement scientifique, à la fois par la construction des savoirs, des savoir-faire et des savoir-être propres aux chercheurs. Pour ce faire, nous souhaitons contribuer à une meilleure compréhension par les enseignants des mécanismes et des représentations sur lesquels se basent leurs propres choix d'approche, et ultimement, encourager une amélioration des pratiques. Les enjeux principaux de la problématique sont résumés à la figure 1.

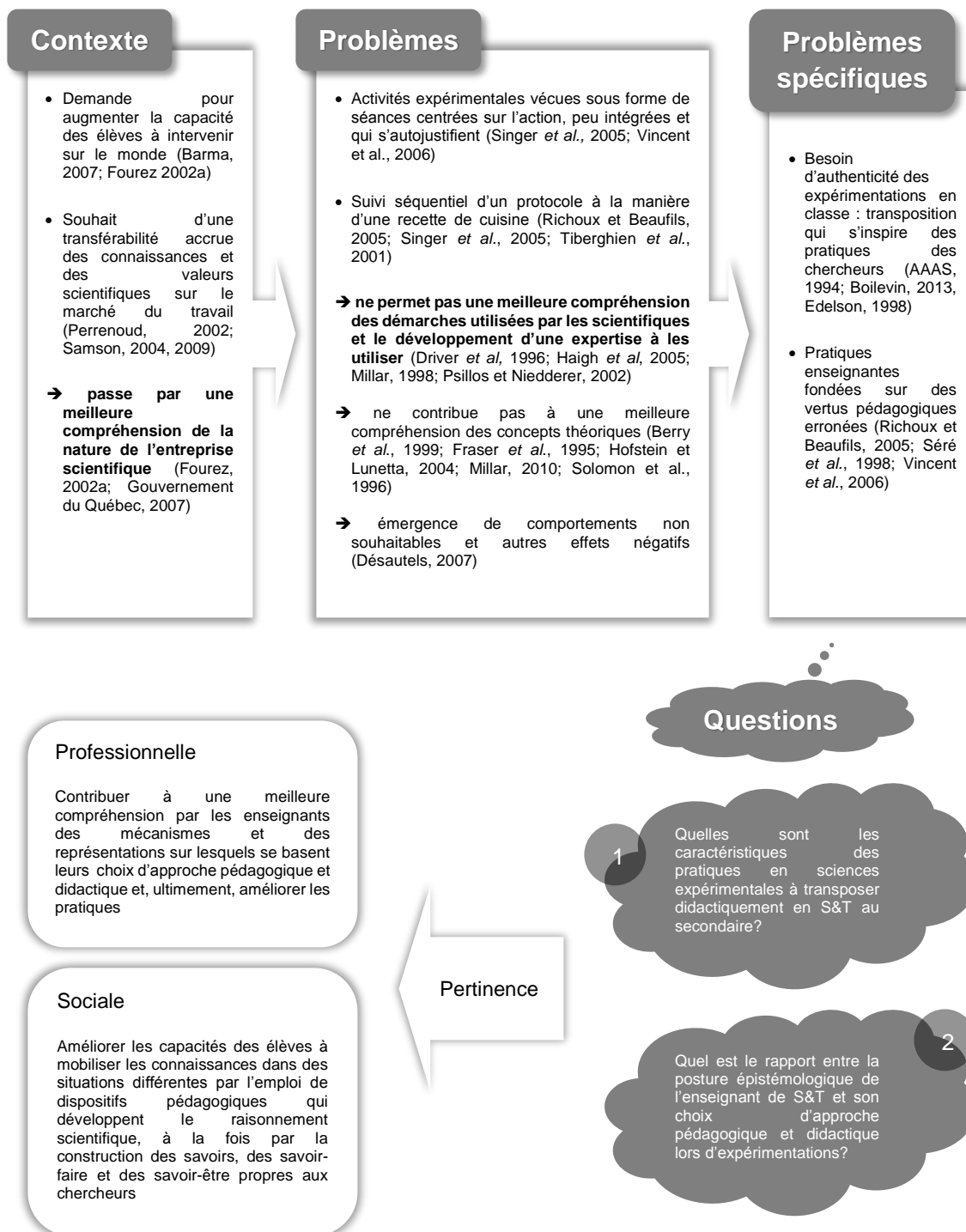


Figure 1. Problématique

CHAPITRE II

LE CADRE THÉORIQUE ET CONCEPTUEL

Afin de bien comprendre tous les concepts utilisés dans notre étude, ce chapitre permet de les définir et de les expliquer. Par le prisme des notions que nous avons retenues, la première section décrit d'abord ce que sont les véritables pratiques sociales de référence en sciences expérimentales, dans le but éventuel de les transposer en classe. Subséquemment, la deuxième section décrit le rapport entre la posture épistémologique de l'enseignant de S&T et son choix d'approche pédagogique/didactique. Enfin, pour tenir compte à la fois d'une épistémologie contemporaine et des recherches récentes en psychologie cognitive dans l'enseignement des S&T, la troisième section explore les tenants et les aboutissants de *l'enseignement scientifique fondé sur l'investigation*.

2.1 Les pratiques en sciences expérimentales à transposer en classe

« La didactisation d'un savoir consiste à l'extraire des mécanismes de son élaboration scientifique pour l'insérer dans une structure scolaire » (Weisser, 2010, p. 296). Quant à elle, la transposition didactique consiste en l'étude de la transformation scolaire, d'une part des savoirs savants en curriculum prescrit, et d'autre part des pratiques sociales des créateurs de ces savoirs (Chevallard, 1991; Perrenoud, 1998; Schneuwly,

2008). Cette modification est un phénomène inévitable auquel aucune discipline ne peut échapper. Cela nous conduit à distinguer les sciences du chercheur, les sciences à enseigner, celles effectivement enseignées, celles apprises par les élèves, et enfin celles évaluées. Sous l'angle de la formation professionnelle des enseignants, Martinand (1994) évoque que le modèle de la transposition didactique « permet de poser le problème de l'articulation entre compétence scientifique ou technologique et compétence pédagogique » (p. 66). Ce concept peut être élargi en mettant en relation les buts et contenus pédagogiques, en particulier les activités didactiques, avec les situations, les tâches et les qualifications tirées de la pratique des chercheurs scientifiques. Nous pouvons y reconnaître le concept de transposition des *pratiques sociales de référence* de Martinand tel qu'énoncé dès 1986 :

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 (social) [...] La relation avec les activités didactiques n'est pas d'identité, il y a seulement terme de comparaison (p. 137)

À cette définition, Martinand (1986) précise que :

Sa portée est plus vaste : elle fonctionne essentiellement comme guide d'analyse des contenus, et par là de critique et de proposition [...] Il s'agit avant tout de se donner les moyens de localiser les concordances et les différences entre deux situations, dont l'une [...] est l'objet de l'enseignement et possède une cohérence qui doit être transposée dans l'école (p. 138)

Pour ce qui est des savoirs savants, il est clair que des choix sont faits et que certains sont sélectionnés afin d'être enseignés. Cependant, visant la transférabilité des connaissances et des valeurs scientifiques, le défi est de comprendre dans quelle mesure il est possible de permettre à la fois un apprentissage de ces connaissances et une meilleure compréhension des processus scientifiques et des pratiques des chercheurs.

Pour ce faire, la prochaine section propose d'envisager ces processus sous l'angle d'une évolution historique de la représentation des chercheurs et de leurs démarches. Puisque la vision que l'enseignant a des savoirs a possiblement une influence sur ses pratiques, et par le fait même sur ce qu'il véhicule en classe, il est difficile de faire l'économie de cette étude historique si l'on veut saisir certaines conceptions *vestigiales* présentes encore aujourd'hui et souvent mêmes fondatrices d'approches pédagogiques et didactiques solidement ancrées. Cela contribuera à une meilleure compréhension de la méthode expérimentale scolaire telle que proposée actuellement et les critiques que nous en faisons.

Pour chaque concept abordant l'essence des démarches scientifiques, les idées principales sont relevées selon une chronologie de développement consensuelle dans la littérature. Afin de comprendre l'évolution récente des idées, bien que le cadre de cet essai ne permet pas l'étalement de l'intégralité des courants épistémologiques dans leur historicité, quelques critiques de grands philosophes et épistémologues du XX^e siècle sont parfois rapportées en appui d'indices pouvant faire soupçonner de la validité d'un point de vue.

La nature des savoirs scientifiques et leurs processus d'élaboration au regard du développement de l'épistémologie sont d'abord examinés. Puis, l'origine de la démarche scientifique sera expliquée par le problème. Suivent le rôle de l'expérimentation en tant

que test d'une hypothèse réfutable, les voies multiples qu'empruntent les chercheurs et enfin, la socialité et les intérêts des scientifiques.

2.1.1 Les savoirs construits, une évolution épistémologique

La nature des savoirs scientifiques est premièrement abordée. Les Grecs aristotéliens ont développé une manière de concevoir et de décrire le monde centré sur les choses, le *réalisme scientifique* (ou ontologique, selon les auteurs et les contextes), entraînant une large diffusion des savoirs scientifiques :

Pour la Grèce classique, le terme « sciences » désigne cette partie de la philosophie qui [...] consiste à produire un discours dont toutes les propositions sont en correspondance avec le monde [...] Un discours scientifique prétend atteindre la certitude [et] est fondé sur des principes vrais (Léonhardt, 2009, p. 1)

On interprète alors ces savoirs sous la forme d'une vérité absolue (tableau 2), issue d'une réalité extérieure indépendante qu'il nous est donné de connaître. Puisqu'un instrument (d'observation, de mesure, etc.) a pour objet de transformer la Nature, les sciences, imaginées selon ce paradigme épistémologique, doivent se méfier des instruments. Or, c'est un fait, notre connaissance du monde s'est sensiblement accrue via les instruments comme outils d'expériences :

Sans instrument, l'optique, le magnétisme, l'électricité, par exemple, n'auraient jamais pu être explorés. La crainte d'Aristote que les instruments modifient la Nature était-elle justifiée? Nous pouvons répondre avec assurance aujourd'hui : très certainement! La rencontre de la dualité onde-corpuscule, par exemple, qui ne dépend que de l'instrument choisi, en est une illustration manifeste. Heisenberg le dit clairement : ce que nous observons n'est pas la nature elle-même, mais la nature soumise à notre méthode de questionnement. Notre méthode de questionnement s'incarne, bien entendu, dans des instruments (Léonhardt, 2009, p. 21)

Cette intrusion de la notion d'interprétation au cœur même des sciences par les instruments remet profondément en question le paradigme réaliste⁷. Nadeau et Désautels (1984) affirment « qu'il est faux de croire que le monde se réduit à la représentation que j'en ai, autant il est faux de s'imaginer pouvoir connaître ce qu'il en est hors de toute représentation »⁸ (p. 20). Plusieurs épistémologues et philosophes contemporains s'inscrivent aussi contre le *réalisme scientifique*, surtout sous l'angle de la nécessité de l'interprétation⁹. Pour sa part, Jean Piaget (1896-1980) a également contribué à décrédibiliser le paradigme réaliste par ses recherches sur les processus d'apprentissage¹⁰. En rupture avec le réalisme scientifique, un autre paradigme dit *constructiviste* permet ainsi de considérer autrement la connaissance en général, et la connaissance scientifique en particulier, à savoir comme le produit d'une construction (tableau 2). Le but du développement des sciences est de produire un discours utile qui dépend du contexte. On

⁷ Dès 1787, dans la *Critique de la raison pure*, par le philosophe Emmanuel Kant (1724-1804), est décrite la notion d'interprétation qui impose une distinction fondamentale en affirmant que la *chose en soi* est hors d'atteinte aux sciences, seuls les phénomènes sont connaissables (Léonhardt, 2009). C'est par la sensibilité que les objets nous sont donnés et c'est par l'entendement qu'ils sont pensés.

⁸ Nadeau et Désautels (1984) qualifient de « réalisme naïf » (p. 20) l'idée qu'avant tout travail de prise de conscience, il existe quelque chose distinct de la pensée et que le travail de la pensée en est un en quelque sorte passif consistant à restituer l'ordre des choses telles qu'elles existent.

⁹ Entre autres, selon Karl R. Popper (1902-1994), il est impossible d'observer sans interpréter (Popper, 1962). Les propositions les plus concrètes peuvent toujours être analysées différemment ou avec plus de précision. Il nie donc toute certitude absolue, aucune description d'un fait n'étant définitive. Ce qui l'intéresse n'est pas l'objectivité, mais l'histoire de cette objectivation. Ainsi, il préfère ancrer la connaissance dans une approche évolutionniste prenant en compte des caractéristiques anthropologiques (Verhaeghe, Wolfs, Simon, et Compère, 2004).

¹⁰ En 1970, dans son ouvrage *L'épistémologie génétique*, affirmant que l'épistémologie traditionnelle ne connaît que les états supérieurs, autrement dit certaines résultantes, il a élaboré une explication biologique de la connaissance humaine. Il remonte ainsi à la genèse même des connaissances et suit leur développement aux niveaux ultérieurs jusqu'à la pensée scientifique. Étant donné que la construction des connaissances est le résultat d'opérations cognitives d'un sujet actif possédant ses propres caractéristiques, il suggère que la connaissance en général ne peut correspondre à une vérité ontologique, mais à la recherche d'attitudes et de modes de pensée adéquats qui s'accordent avec les éléments d'une situation donnée (Gagnon, 1977). Cette contribution majeure sera approfondie ultérieurement.

bascule alors d'une logique descriptive de réalité ontologique vers celle d'une d'interprétation.

Tableau 2. Comparaison des caractéristiques des paradigmes épistémologiques en sciences

Paradigme réaliste	Paradigme constructiviste
La connaissance est acquise	La connaissance est construite
Les savoirs sont issus d'une réalité extérieure, indépendante de l'être	Les savoirs sont issus d'une interprétation, liée à l'être
Les savoirs sont figés dans le temps	Les savoirs évoluent
Les scientifiques découvrent	Les scientifiques inventent
Les sciences permettent de distinguer avec certitude le vrai du faux, de décrire la réalité	Les sciences produisent un discours accepté par la majorité, fondé sur la notion d'utilité

Deuxièmement, les parcours des scientifiques sont discutés. Pour bien comprendre le déploiement des sciences expérimentales, il est essentiel de saisir le rôle de l'activité qui leur est commune, l'expérimentation. Pour ce faire, un léger détour par l'étude de distinctions de la logique sous-jacente est nécessaire.

2.1.1.1 La logique des démarches

L’empreinte des discours sur les cheminements scientifiques a toujours marqué les démarches préconisées ou décrites dans l’enseignement des sciences en général. Cariou (2010) fait remarquer que :

En parcourant diverses œuvres antiques et médiévales, on rencontre à différents endroits la mise en œuvre effective de démarches que l’on qualifierait aujourd’hui, certaines d’inductives, d’autres de déductives, d’autres d’hypothético-déductives » (p. 61)

L’induction¹¹ et la déduction¹² y sont donc très présentes.

Un grand débat épistémologique remontant à l’Antiquité et opposant les *dogmatiques* aux *empiriques* resurgit au XVII^e siècle et oppose deux hommes qui dressent leur stature de législateurs des procédures scientifiques. Ils s’accordent sur le fait que le recueil par les sens, comme le travail de l’esprit, peuvent tromper et qu’une approche sûre qui désigne à quel socle ferme et solide arrimer la connaissance doit être mise en œuvre. C’est ainsi que Francis Bacon de Verulam (1561-1626) formalise le courant *inductiviste empirique*¹³ (tableau 3) et que René Descartes (1596-1650) prône le *déductivisme rationnel* (Cariou, 2010).

¹¹ L’induction est un type de raisonnement consistant à remonter, par une suite d’opérations cognitives, de données particulières à des propositions plus générales. En sciences, elle permet de débiter avec des cas particuliers (faits, expériences, énoncés) et de découvrir la loi qui les régit, des effets vers la cause, du concret vers l’abstrait.

¹² La déduction consiste en un raisonnement qui conduit, selon une règle établie, à partir d’une ou plusieurs propositions dites prémisses, à une conclusion nécessaire et inévitable; si la règle est valide et si les prémisses sont vraies, la conclusion est elle aussi vraie.

¹³ Parfois défini simplement comme l’empirisme.

Tableau 3. Comparaison des démarches préconisées historiquement par les scientifiques selon le paradigme épistémologique

Réalisme	
Inductivisme empirique (Bacon)	<p>Expérience → <i>induction</i> → loi</p> <ul style="list-style-type: none"> • La connaissance naît par l'accumulation de réponses satisfaisantes • (-) Peut toujours être démenti par un contre-exemple
Déductivisme rationnel (Descartes)	<p>Loi, proposition (par intuition) → <i>déduction</i> → fait, énoncé</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'expérimentation est superflue • (+) Permet de valider ou d'infirmer une proposition de façon certaine • (-) N'apporte aucune information supplémentaire non contenue dans les propositions
Empiricodéductivisme (Newton)	<p>Expérience → <i>induction</i> → loi, proposition → <i>déduction</i> → fait, énoncé</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les mathématiques soutiennent les mécanismes mêmes du réel • Tente de bannir les conjectures et les hypothèses cartésiennes « vagues » par le recours à l'expérience • (+) Permet de valider ou d'infirmer une proposition de façon certaine
Constructivisme	
Hypothéticodéductivisme (Bernard)	<p>Problème → hypothèse → expérience (test) → <i>déduction</i> → cas particulier</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le stimulus de l'expérience est l'hypothèse • (+) Permet de valider ou d'infirmer une hypothèse de façon certaine

Par induction, la pensée baconienne conçoit qu'à travers l'expérience, la réalité s'offre naturellement à l'observateur. L'expérience première arrive à mettre les lois en évidence :

Il faut [...] arriver à l'abstrait par la voie du concret [...], une expérience répétée et des généralisations empiriques doivent exister avant que la science puisse être [...] Toute étude doit avoir des commencements purement expérimentaux [...] De la puissance d'observation dépend le succès en toutes choses, choses qui portent en elles-mêmes leurs lois (Spencer, 1894, p. 61, 66, 58)

Les connaissances apportées se stratifient des plus simples aux plus complexes, à condition de tout mettre en œuvre pour qu'il n'y ait pas d'erreurs. C'est toutefois un raisonnement appuyé par sa vérification répétée et qui peut toujours être démenti par un contre-exemple. Il est donc probabiliste et la validité d'une connaissance croît avec le nombre de corroborations. C'est par son appel à des observations soigneusement recueillies, des expériences méthodiquement provoquées et variées et de l'extraction prudente des connaissances que Bacon a exercé une large influence. Pour sa part, Descartes exprime sa préférence pour la déduction par syllogisme :

Remarquons que nous arrivons à la connaissance des choses par deux voies, c'est à savoir, l'expérience et la déduction. [...] l'expérience est souvent trompeuse; la déduction, au contraire [...] peut ne pas se faire, si on ne l'aperçoit pas, mais n'est jamais mal faite (Descartes, 1970, règle II)

Par des déductions mathématiques fermes et rigoureuses, la raison permet d'acquérir une connaissance certaine et indubitable. Contrairement à l'expérience pour Bacon, le point de départ est l'intuition. Ce raisonnement comme voie exclusive ne donne cependant pas d'informations supplémentaires à celles contenues dans chacune des prémisses. L'intérêt réside dans la validation ou l'infirmité des références utilisées (lois, concepts). Isaac Newton (1643-1727) va encore plus loin dans la correspondance des sciences avec le réel en généralisant l'interprétation du discours mathématique, l'étendant à toute la nature (Cariou, 2010); il soutient que les termes mathématiques se réfèrent à des choses concrètes du monde et que les énoncés correspondent à des mécanismes se déroulant réellement. Il

rejette toutefois fermement les hypothèses intuitives cartésiennes comme point de départ des sciences en affirmant que :

Tout ce qui n'est pas déduit des phénomènes [n'a] pas de place en *philosophie expérimentale*. En cette philosophie, les propositions sont déduites des phénomènes et rendues générales par induction (Newton, 1713/1759, p. 179)

Il dit procéder donc par induction empirique, du phénomène jusqu'à une proposition plus générale, qu'il soumet ensuite à une déduction mathématique de type cartésienne, sans recours aux hypothèses (Hamou, 2002). Le succès écrasant de la physique newtonienne a fait que les scientifiques ont par la suite essayé de se conformer au modèle newtonien *empiricodéductif* de la connaissance.

On peut constater que ni l'inductivisme empirique, ni le déductivisme rationnel, ou le modèle empiricodéductif newtonien – comme le dogmatisme scolastique et l'empirisme de l'Antiquité –, considérés dans l'absolu, ne récusent l'utilité des expériences, qui peuvent fournir des indications, mais elles ne sauraient renverser la théorie, parce que considérée irréfutable. On dénote derrière l'inductivisme empirique l'idée d'une préexistence des lois et d'un monde connaissable à atteindre par les répétitions nombreuses d'expériences diverses, ce qui est analogue au déductivisme rationnel qui ne vise, en partant des principes, qu'à exposer logiquement un édifice théorique supposé achevé dans sa construction. On y retrouve donc, comme pour la méthode newtonienne, le dogme du réalisme scientifique que Bacon et Descartes s'étaient pourtant affairés à combattre.

L'épistémologie contemporaine des sciences apporte, à l'évidence, des transformations radicales par le paradigme constructiviste qui corrige certaines faiblesses, conserve des traits essentiels forts et propose une solution davantage cohérente. Le credo *positiviste*, qui postule une croyance en la possibilité d'un contact direct avec le réel par l'expérience, est ainsi décliné par l'un des plus grands expérimentateurs du XIX^e siècle qu'est Claude Bernard (1813-1878). Pour lui, le rôle de la méthode expérimentale est de faire éviter les dérives et les écueils du rationalisme et de l'empirisme. Il pense qu'il est extrêmement difficile de rester dans l'empirisme pur en faisant des observations ou des expériences brutes sans y mêler aucune hypothèse ni idée préconçue sur les faits :

Ce n'est qu'après qu'il aura constaté les résultats de l'expérience [...] que son esprit reviendra pour raisonner, comparer et juger si l'hypothèse expérimentale est vérifiée ou infirmée par ces mêmes résultats [...] Il suffira de retenir en principe que l'idée a priori ou mieux l'hypothèse est le stimulus de l'expérience (Bernard, 1865, p. 52)

Au plus simple, cette démarche consiste donc en l'émission d'une hypothèse, construite à partir d'un problème, qui est testée expérimentalement selon une méthode déductive fiable qui a fait ses preuves¹⁴. Il est à noter que cela n'implique aucune régularité entre l'hypothèse et la conclusion, tel que ce que l'on retrouve en classe suite à la transposition didactique des pratiques. La démarche utilisée réellement par les chercheurs est donc envisagée présentement, dans ses grandes lignes, comme étant hypothéticodéductive¹⁵.

¹⁴ Selon Popper (1934/1989), « un savant, qu'il soit théoricien ou praticien, propose des énoncés ou des systèmes d'énoncés et les teste pas à pas [...] Il bâtit des hypothèses ou des systèmes théoriques et les soumet à l'épreuve de l'expérience par l'observation et l'expérimentation » (p. 23).

¹⁵ Pour, entre autres au XX^e siècle et dans la lignée de Bernard, des savants de renom tels que Poincaré, les Curie, Einstein, Medawar, Jacob, Monod, Eccles, Mayr, Feynman ou encore Sagan (Cariou, 2010).

Une forte divergence est donc présente quant à l'image que l'enseignant peut se faire des savoirs constitués et de leur mode d'élaboration. Cet écart apparaît également lorsqu'on s'intéresse au moteur même qui pousse des scientifiques à chercher des réponses par la voie empirique.

2.1.2 Du problème origine l'expérimentation scientifique

Fortement liée au concept précédent, la source perçue des expérimentations peut différer en fonction de la matrice à travers laquelle l'enseignant interprète la nature des sciences; le processus menant à la formulation de l'hypothèse se met en marche à partir soit de l'observation, soit d'un problème à résoudre.

Inspiré du réalisme et envisageant les sciences selon le courant philosophique positiviste, seuls les faits expérimentés ont une valeur universelle¹⁶ et l'observation scientifique permet de rapporter fidèlement ce que les sens perçoivent. Elle constitue l'origine de la démarche expérimentale du chercheur, et c'est la curiosité spontanée de celui-ci qui le mène à collecter des informations au hasard de ses observations. Lorsqu'il possède suffisamment d'éléments objectifs, des interrogations naissent et elles s'assemblent en une hypothèse à vérifier (qui peut être vue comme un problème à résoudre). Toute observation scientifiquement valable se doit d'être complète, c'est-à-dire

¹⁶ Positivisme. (n.d.). Dans *Dictionnaire philosophique Toupie*. Récupéré de <http://www.toupie.org/Dictionnaire/Positivism.htm>

qu'aucun élément n'est négligé, donnant ainsi accès à l'ensemble du réel. Cette posture est vivement critiquée^{17,18}.

Par ailleurs, les scientifiques ne peuvent être des individus observant le monde en ne partant de rien. Comme discuté antérieurement, puisque les faits contiennent toujours des éléments d'interprétation, partir d'une observation qui serait le point de départ d'une investigation scientifique semble difficile à concevoir^{19,20,21}. Pour Nadeau et Desautels (1984) :

Sans un point de vue préalablement adopté, sans une perspective de recherche suffisamment explicite, l'observation ne peut avoir lieu et l'enquête ne peut démarrer. Le point de vue lui-même tire origine d'une question [...] que l'on se pose d'emblée et à laquelle on entend prendre le temps qu'il faut et les moyens jugés nécessaires pour y répondre [...] L'idée que [...] l'observation, au sens technique du mot, ne nécessite rien de plus que l'attention du regard et l'ouverture de l'esprit, n'est qu'un mirage épistémologique (p. 26)

¹⁷ Nadeau et Désautels (1984) affirment que « caractériser la science comme étant fondamentalement une activité de cueillette minutieuse, ordonnée, voire même exhaustive des faits, c'est faire place à l'empirisme béat » (p. 25).

¹⁸ Selon Fourez (1998), cette notion d'observation *complète* n'a évidemment aucun sens, puisqu'« observer, c'est toujours sélectionner, structurer, et donc abandonner ce qu'on ne prend pas. Rien n'est plus étrange à l'observation scientifique qu'une observation complète » (p. 34).

¹⁹ Pour Kant, nos observations ne sauraient être faites au hasard et sans aucun plan (Guillermit, 2008).

²⁰ Pour Popper (1963/1985), la mise en œuvre d'une démarche scientifique n'est jamais gratuite, elle est toujours une démarche de résolution de problème à propos d'un phénomène. Il précise que « les théories scientifiques – qui visent l'explication – ne sont rien d'autre que des tentatives pour résoudre des problèmes scientifiques [...]. Certes, nos attentes et, partant, nos théories peuvent être antérieures à la formulation même de ces problèmes. Néanmoins, la science ne commence que s'il y a un problème » (p. 329).

²¹ Bachelard (1967) lui, parle d'*observation polémique*, du fait qu'une observation n'est intéressante que si elle vient heurter des connaissances établies ou des certitudes préconçues. Avec des mots différents, il indique que :

Avant tout, il faut savoir poser des problèmes [...] Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit (1967, p. 17)

D'inspiration constructiviste, il est ainsi admis que c'est le problème qui est au cœur de l'activité scientifique; il est non seulement premier et à l'origine de l'expérimentation, mais il constitue aussi le moteur et l'axe d'orientation de la recherche qui lui est associée (Brunet, 1998; De Vecchi et Carmona-Magnaldi, 2002; Orange, 2005). Ces problèmes apparaissent lorsque les théories scientifiques n'expliquent plus totalement ce qui est observé par le chercheur²². Pour l'instant, l'origine du problème (déduction associant connaissances antérieures et observations fortuites ou provoquées) importe peu ici. C'est davantage le fait qu'il constitue le véritable point de départ d'une démarche expérimentale scientifique qui est important.

2.1.3 La réfutabilité de l'hypothèse, un critère de scientificité

Il y a quelque chose de sécurisant à concevoir que les sciences parviennent à établir hors de tout doute ce qu'il convient de penser ou ce que l'on devrait refuser de croire. Il peut être aussi réconfortant à l'idée que l'expérimentation consiste en la voie absolue de la vérification de la vérité définitive (Nadeau et Désautels, 1984). Ce rôle *vérificationniste* attribué auparavant – et encore souvent aujourd'hui – aux expérimentations est illustré par les sciences qui procèdent, dans le cas où des théories incompatibles se font concurrence, par l'expérience dite *cruciale*; c'est par la mise au point d'un protocole expérimental qu'à

²² Pour Thomas Kuhn (1922-1996), il est possible de distinguer deux types de problèmes scientifiques. Ceux qui permettent une amélioration du paradigme dans lequel ils sont élaborés, et ceux qui, par absence de résolution, conduisent à une crise. On distingue alors des problèmes *normaux*, posés dans le cadre des sciences qui se consolident, et des problèmes *de rupture*, reliés à l'incohérence d'une théorie ou au conflit entre deux théories (Kuhn, 1983).

terme, si l'une des théories en présence est fausse, l'autre est nécessairement vraie et réciproquement. Or, rappelons-nous la dualité onde-corpuscule de la lumière, théorie acceptée présentement dont la finalité du modèle ne dépend que de l'instrument utilisé. Au XX^e siècle, la Relativité einsteinienne est venue aussi déformer des concepts primordiaux que l'on croyait à jamais immobiles et a poussé à abandonner le principe de *correspondance* pour celui de *cohérence* au réel. Tout énoncé scientifique reste donc nécessairement et à jamais affirmé à titre d'essai²³.

Popper se pose la question suivante : à quelle condition une théorie est-elle scientifique? Il défend que ce soit la *réfutabilité* (parfois nommée *falsifiabilité*) et non la *vérifiabilité* d'un système qu'il faut prendre comme critère de démarcation. Autrement dit, ce n'est pas par la vérification, qui privilégie une démarche inductive et la relation de causalité, que l'on définit la scientificité d'une proposition. C'est par l'existence de tests, parfois expérimentaux, qui pourraient éventuellement infirmer ladite proposition²⁴. Si une hypothèse survit à la compétition des hypothèses concurrentes, elle est acceptée. Cette dernière est plus apte à résister aux tentatives de réfutation et offre plus de chances d'améliorer les connaissances acquises.

²³ Popper suggère qu'« il est donné à la science d'atteindre ni la vérité ni la fausseté, les énoncés scientifiques ne peuvent qu'atteindre des degrés continus de probabilité dont les limites supérieures et inférieures, hors d'atteinte, sont la vérité et la fausseté » (cité dans : Darley, 1996, p. 35). Il pense que les théories ne sont tout simplement jamais vérifiables empiriquement : « Pour déclarer une axiomatique exempte de toute contradiction interne, encore faut-il être sûr que tous les théorèmes ont été exhibés. La reconnaissance de l'incomplétude *de jure* de toute théorie entraîne que la vérité-cohérence ne sera qu'une croyance et jamais une connaissance absolument certaine et démontrable » (Léonhardt, 2009, p. 16).

²⁴ Dans cette perspective, Popper refuse donc la démarche inductive et les inférences qu'elle produit. Il croit que le concept de réfutabilité est ce qui démarque les sciences de la métaphysique et qu'il est, de ce fait, garant du progrès scientifique.

Un point central et commun aux multiples démarches des chercheurs scientifiques semble être le test de l'hypothèse. Toutefois, celui-ci n'est pas forcément effectué seulement par l'expérience, même dans un cadre de sciences dites *expérimentales* comme la chimie, la physique ou la biologie²⁵. L'hypothèse peut ainsi très bien être testée théoriquement, par exemple, par des observations de la nature ou par la découverte de nouvelles informations trouvées dans des livres ou encore Internet :

La majeure partie des tests qu'un scientifique réalise dans sa pratique ne sont pas expérimentaux, mais théoriques : c'est d'abord en confrontant son modèle à d'autres bien établis que le chercheur le teste. En d'autres termes, avant de tester expérimentalement un modèle, on examine s'il est théoriquement plausible [car] faire des sciences, c'est théoriser (Fourez, 2002b, p. 116)

En somme, la démarche expérimentale scientifique repose donc toute entière sur le test par l'expérience d'une hypothèse, et non sur la vérification empirique d'une loi ou d'un modèle. Par sa logique déductive d'interprétation des résultats, l'expérience permet de prouver efficacement la fausseté de certaines théories²⁶ et d'éliminer des erreurs.

²⁵ En guise de précision : « On distingue aujourd'hui *démarche expérimentale*, dans laquelle l'hypothèse est testée à l'aide d'une expérience, et *démarche scientifique* (sous-entendu : hypothético-déductive), type de démarche plus large dans laquelle une expérience, mais aussi une observation, une simulation ou une modélisation peuvent aussi tester l'hypothèse. Ce n'est en effet pas l'expérience, le fait que l'observation de contrôle soit *provoquée* qui est déterminant dans cette démarche, mais la soumission à un test, la confrontation de l'hypothèse au réel, ou, à défaut, à un substitut du réel » (Cariou, 2010, p. 278).

²⁶ Brunet (1998) fait remarquer qu'en fait, contrairement à un cadre « falsificationniste poppérien naïf », il est rare que l'expérience débouche sur le rejet de la théorie. Le plus souvent, on aboutit à des aménagements provisoires de secteurs de la théorie (Kuhn, 1983).

2.1.4 Les sciences buissonnantes et les tâtonnements du chercheur

Le trajet de l'élaboration des connaissances peut être envisagé à différentes échelles. Abordons d'abord le niveau macroscopique, avant de discuter de celui plus individuel.

2.1.4.1 L'avancement des sciences

Plus la réalité est présentée comme une vérité à découvrir peu à peu, plus on a tendance à s'imaginer les sciences comme un édifice auquel on ajoute des étages avec le temps. Jusqu'au XX^e siècle, c'est par cumul de faits congruents que les sciences *décident* de la vérité. Les scientifiques découvrent toujours plus de choses et ces connaissances ne font pas place à d'autres, plus exactes, avec le temps, mais sont plutôt accumulées. Sous prétexte qu'elle est historiquement ininterrompue, la conquête cumulative se fait sans rupture²⁷.

À l'opposé d'une vision où chacun vient apporter sa pierre à l'édifice, Bachelard, Popper, Kuhn et Paul Feyerabend (1924-1994) proposent des sciences en remodelage

²⁷ Nadeau et Désautels (1984) qualifient cette position épistémologique de « rationalisme abusif ».

constant et où une connaissance ne vaut que par sa capacité à nous rendre le monde compréhensible^{28,29,30,31}. Nadeau et Désautels (1984) vont dans le même sens :

Que l'on pense à Aristote en exil, à Giordano Bruno sur son bûcher, à Galilée à genoux, à Darwin anathémisé, à Freud ignoré, etc. S'il y a une continuation du travail scientifique d'une époque à l'autre, cela ne veut pas dire que la transmission d'information se fait sans perte et que la démarche est linéaire (p. 54)

Ce qui crée l'illusion, c'est qu'au fil du temps, les manuels de référence sont refaits et l'histoire de la discipline réécrite, oubliant les propositions jugées saugrenues et effaçant les conceptions *périmées*. Or, les sciences n'évoluent pas de façon unidirectionnelle, sans retours en arrière ni culs-de-sac fréquents. La structure est plutôt arborescente, et tandis que plusieurs branches ne mènent à rien, d'autres sont longtemps fertiles.

²⁸ Bachelard (1967) considère l'évolution des savoirs comme non linéaire, ponctuée de ruptures, et il démontre comment elle procède par essais et erreurs. Selon lui, en général et au niveau de l'individu, la rectification est la véritable réalité épistémologique; toute connaissance est une erreur rectifiée. Une de ses propositions majeures est qu'il faut poser le problème de la connaissance en termes d'obstacles épistémologiques freinant la connaissance plutôt qu'en termes d'accumulation. Nous précisons cette notion ultérieurement au quatrième chapitre.

²⁹ Popper considère que le progrès de la science ne réside pas dans l'accumulation des savoirs, mais dans sa capacité à s'analyser et s'autocorriger; c'est cela qui la fait évoluer (Fourez et Larochelle, 2004).

³⁰ Kuhn montre que l'histoire des sciences évolue par cycles; lorsque des contre-exemples s'accumulent et que l'on constate certaines contradictions, une période (temps durant lequel les méthodes et les concepts sont communs aux chercheurs et où le travail de la communauté scientifique consiste essentiellement à affiner la cohérence de la théorie dominante et sa portée empirique) peut succéder à une autre (Fourez et Larochelle, 2004). Le paradigme premier se fait alors remettre en question et on peut assister à une révolution scientifique s'il est abandonné au profit d'un autre. Citons la révolution copernicienne ou le passage de la physique newtonienne à la relativité d'Einstein.

³¹ Feyerabend va encore plus loin et suggère que les différentes philosophies des sciences n'ont jamais été respectées au cours de l'histoire (Verhaeghe *et al.*, 2004). Il évoque que l'anarchisme en sciences soit non seulement une possibilité, mais une nécessité pour le progrès interne.

2.1.4.2 Le cheminement du chercheur

De façon analogue, un parallèle peut être fait avec la démarche des chercheurs. Celle-ci ne peut être considérée comme linéaire et constituée d'étapes causales entre elles. Pourtant, cette vision est répandue encore aujourd'hui et il est possible que ce soit la conséquence, entre autres, des écrits de Bernard. Ce dernier a eu beaucoup d'influence en contribuant à l'échafaudage d'un outil privilégié dans l'enseignement des sciences de la nature, humaines et sociales, la *méthode expérimentale*³². Cette méthode peut sembler triviale et représentative à première vue, mais il s'agit d'un récit de la science, plutôt qu'une démarche vécue³³. Nombre d'historiens des sciences ont montré que c'était là une pratique courante³⁴. Lorsque des scientifiques ne possédant pas encore la solution présentent une recherche encore inachevée et avancent des hypothèses avant même de mettre en œuvre les expériences, le biais de réécriture ne peut exister et les errements et les voies sans issue sont aisément constatés (Cariou, 2010, p. 188). Il en est de même dans des récits de certains scientifiques lorsque leur objectif premier n'était pas de présenter

³² Décrivant les activités d'un chercheur typique, dans ses écrits de 1865, Bernard mentionne que « le savant complet [...] 1° il constate un fait; 2° à propos de ce fait, une idée naît dans son esprit; 3° en vue de cette idée, il raisonne, institue une expérience, en imagine et en réalise les conditions matérielles. 4° de cette expérience résultent de nouveaux phénomènes qu'il faut observer, et ainsi de suite » (p. 54).

³³ Cariou (2010) souligne que des analyses effectuées par l'historien des sciences Mirko D. Grmek démontrent que Bernard a gommé lui-même les étapes divergentes, tous les essais et les erreurs et effacé ses traces pour ne garder que l'essentiel.

³⁴ Richard Feynman (1918-1988) commence d'ailleurs par ce sujet sa conférence Nobel de 1965 : Quand nous écrivons un article pour une revue scientifique, nous avons l'habitude de présenter un travail aussi bien fini que possible, d'effacer toutes nos traces derrière nous, d'oublier les impasses, de ne jamais écrire les idées fausses de départ, et ainsi de suite. De sorte qu'il n'existe aucune publication où l'on puisse raconter, de façon sérieuse, le travail tel qu'on l'a vraiment fait (cité dans : Cariou, 2010, p. 189)

des résultats³⁵. Bien que les récits de ces chercheurs soient convaincants, l'étude de manuscrits originaux et de cahiers de notes par des historiens semble encore plus fiable et représentative de la réalité du cheminement. Les cours tortueux des recherches, les faux pas, éclairs de génie, piétinements, retours en arrière, pistes suivies en parallèle et échecs sont ainsi révélés véritablement³⁶.

L'activité de recherche conforme à la réalité est donc foisonnante, avec des boucles de rétroaction multiples (Latour, 1989). Les écarts entre les errances des itinéraires des chercheurs et l'avancement rectiligne publié selon une démarche rigide et stéréotypée sont vraisemblablement le fruit d'une réécriture structurée, linéaire et conforme aux impératifs de la narration qui nécessite un début, un développement et une conclusion. Néanmoins, le lissage du récit a tout de même son utilité; cet artifice de présentation a moins pour but de masquer une frivolité d'esprit que de présenter logiquement les travaux de façon cognitivement allégée.

³⁵ On peut suivre les nombreux détours de la pensée de Johannes Kepler, ou, parmi les auteurs modernes, de James Watson (1968), Peter Medawar (1986, l'une des sous-parties s'intitule même *Mistakes*), François Jacob (1987) ou Francis Crick (1988) (Cariou, 2010).

³⁶ Au sujet de Bernard, Grmek écrit que « l'écart entre les termes de son *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* et les notes de son cahier de laboratoire [...] fonctionne comme un véritable révélateur » (Cariou, 2010, p. 16).

2.1.5 Les chercheurs sociaux et intéressés

Le chercheur est fréquemment imaginé coupé de son milieu, séparé du reste du monde et cherchant par ses propres ressources à solutionner des énigmes ou mettre à jour des phénomènes (Latour, 1989). « L'image du savant isolé dans son cabinet de travail ou dans son laboratoire et affrontant seul des faits déjà connus qui ont jusque-là résisté à toute explication convenable hante encore notre imaginaire » (Nadeau et Désautels, 1984, p. 42). Selon cette vision, l'esprit scientifique est mû par la soif de connaître et l'appétit pour la vérité, motivé par l'idéal associé au développement de la connaissance. La subjectivité dans l'activité scientifique est réduite au minimum et cette dernière ne comprend aucun élément personnel du chercheur, que ce soit ses intérêts ou ses aspirations professionnelles. Le contexte n'entre pas en ligne de compte, pas plus que les éléments d'ordre socioculturels. La communauté scientifique peut se définir comme un groupe capable de manier un certain type de savoirs, et elle peut n'apparaître que comme un élément externe aux sciences et à ses résultats. Ce mythe de l'esprit scientifique désincarné est persistant et est évidemment peu représentatif des scientifiques³⁷.

Au contraire, la profession de recherche scientifique est plutôt caractérisée par une forte socialité. Loin d'être isolés, les scientifiques ont d'abord inévitablement besoin les uns des autres. Un laboratoire est performant en grande partie parce que son personnel est

³⁷ Nadeau et Désautels affirment que « croire que le jeu de rôles particulier qui définit socialement la pratique de la science interdit d'avoir des passions, neutralise les éventuels intérêts individuels de tout un chacun et n'est axé que sur la seule volonté de savoir, c'est tomber dans l'idéalisme aveugle » (1984, p. 46).

bien organisé et parce que dans les unités de recherche, la communication, le dialogue et la critique circulent bien (Fourez, 1998). « La méthode de production des sciences passe donc par les processus sociaux permettant la constitution d'équipes stables et efficaces » (Fourez, 1998, p. 96). Que les chercheurs bénéficient du travail fait par d'autres avant eux ainsi que de celui de leurs collègues ou de leurs rivaux, qu'ils l'approuvent ou qu'ils tentent de l'invalider, la production des savoirs scientifiques est une affaire collective qui ne s'accomplit pas en vase clos^{38,39}.

Ensuite, les chercheurs sont des individus intéressés, guidés par leurs buts personnels. L'objectivité requise en sciences n'est pas une attitude face à la nature exigeant de se débarrasser de ses préjugés et de ses motivations. C'est plutôt une attitude d'ouverture à l'égard des arguments explicatifs des autres et de la discussion. Ainsi, « l'intérêt ne fait pas obstacle à la connaissance scientifique objective, il lui donne plutôt son impulsion » (Nadeau et Désautels, 1984, p. 44). De ce fait, la production des savoirs se déroule dans un monde de négociations et de controverses traversé d'une diversité d'enjeux. Il s'y produit des conflits. Une négociation des savoirs peut être constituée, par

³⁸ Le caractère social et interdisciplinaire des sciences a été bien illustré par Bernard : « Il arrive le plus souvent que, dans l'évolution de la science, les diverses parties du raisonnement expérimental sont le partage de plusieurs hommes. Ainsi il en est qui, soit en médecine, soit en histoire naturelle, n'ont fait que recueillir et rassembler des observations; d'autres ont pu émettre des hypothèses plus ou moins ingénieuses et plus ou moins probables fondées sur ces observations; puis d'autres sont venus réaliser expérimentalement les conditions propres à faire naître l'expérience qui devait contrôler ces hypothèses; enfin il en est d'autres qui se sont appliqués plus particulièrement à généraliser et à systématiser les résultats obtenus par les divers observateurs et expérimentateurs » (Bernard, 1865, p. 45).

³⁹ Selon Fourez (1998), la démarche scientifique ne devrait même pas être analysée indépendamment de la communauté scientifique, quoiqu'elle le soit la plupart du temps.

exemple, par la publication ou non des fruits d'une recherche. Le simple fait de vouloir communiquer à l'aide de publications scientifiques nécessite que l'auteur se soit conformé aux règles du journal ou de l'éditeur pour qu'il soit reçu comme article scientifique valable. Les recherches doivent avoir été rédigées et exposées selon un modèle défini et la validité est évaluée par les pairs. Puisqu'il existe au sein de la communauté scientifique différents schèmes de pensées qui guident les chercheurs vers une voie de recherche plutôt qu'une autre, le scientifique doit habituellement se conformer aux balises placées par la communauté s'il veut pouvoir continuer, ne serait-ce que par la terminologie qu'il doit employer.

Enfin, par les intérêts de chacun, la communauté scientifique s'amalgame à une société de développements technologiques propulsée par les incitatifs économiques (brevets, contrats, crédits, etc.). Ce sont les participants d'un univers culturel et linguistique dans lequel ils insèrent leurs projets individuels et collectifs (Latour, 1989).

Par le caractère éminemment social des sciences, le paradigme épistémologique constructiviste peut évoluer. On parlera ainsi du *socioconstructivisme*, un terme bien connu des épistémologues des sciences⁴⁰.

⁴⁰ Ce n'est pas le paradigme, une matrice d'interprétation, qui va dicter la façon de faire de la recherche. Le paradigme, c'est une clé de lecture nantie par des penseurs qui évaluent les sphères de l'activité scientifique.

2.2 Le rapport entre la posture épistémologique de l'enseignant et son choix d'approche pédagogique/didactique

L'enseignant est un vecteur essentiel entre les connaissances et l'élève et c'est lui qui pilote majoritairement la transposition didactique. Pour jauger l'importance d'une compréhension tous azimuts des pratiques sociales des scientifiques par l'enseignant de S&T au secondaire, il apparaît nécessaire d'étudier d'abord les conceptions de ce dernier. Nous pourrions par la suite en évaluer l'influence sur l'approche pédagogique et didactique, et enfin, explorer la liberté d'action des activités expérimentales en classe par laquelle se traduit un choix d'approche.

2.2.1 La posture épistémologique

Chacun sait que ce qui est transmis aux élèves ne peut se réduire à des connaissances déclaratives objectives à accumuler en mémoire et à ressortir au besoin, et ce, encore moins à l'ère des technologies de l'information et de la communication. Il leur est aussi communiqué une certaine image de ce que sont les sciences – ou de ce qu'elles prétendent être – par l'enseignant, au moment où ils ne pensent qu'acquérir un bagage théorique. Comme les conceptions renvoient généralement aux constructions mentales du sujet qui s'élaborent en interaction avec l'environnement (Deaudelin *et al.*, 2005), les élèves développent un rapport au savoir et une certaine représentation de la nature des

sciences et des chercheurs en relative cohérence avec ceux de l'enseignant (Haigh *et al.*, 2005; Sadler, Chambers, et Zeidler, 2004; Schwartz, Lederman, et Crawford, 2004; Vincent *et al.*, 2006). Cela se produit, entre autres, parce que la posture épistémologique⁴¹ d'un enseignant influence inévitablement – qu'il le veuille ou non – ses choix d'activités pédagogiques⁴² (Fourez et Larochelle, 2004; Guilbert et Meloche, 1993; Nadeau et Désautels, 1984; Robardet, 1998; Verhaeghe *et al.*, 2004; Zbidi, 2010). Ces choix peuvent concrètement s'opérer par l'élaboration d'une activité, une sélection ou une adaptation d'activité existante.

2.2.2 Le rapport entre la posture et l'approche pédagogique/didactique

La consultation de nombreux ouvrages de recherche fait constater qu'un consensus existe chez les auteurs dans la rétention de deux grandes postures épistémologiques d'enseignants de sciences. Les pratiques sont ainsi teintées par les postures empiricoréalistes et socioconstructivistes.

⁴¹ Lorsque les idées, croyances et conceptions spontanées d'un enseignant à propos de l'idée de sciences, de son développement et de son enseignement sont réunies, on voit apparaître une articulation cohérente fréquemment formulée sous le terme *posture épistémologique* (Ruel, Désautels, et Larochelle, 1997). Cette construction psychologique individuelle constitue une prise de position orientant les conduites et les communications sociales.

⁴² Arousseau (2017) fait remarquer que « les postures épistémologiques des enseignants de S&T relativement aux sciences se révélant parfois opposées à celles adoptées en milieu de pratique » (p. 25), cela peut rendre difficile l'établissement de relations causales entre les conceptions de futurs enseignants et leurs pratiques d'enseignement. Ce phénomène est issu de différentes contraintes et sera approfondi ultérieurement.

2.2.2.1 La posture empiricoréaliste

Les recherches portant sur les représentations des sciences chez les enseignants ont montré clairement la présence d'une posture réunissant à la fois les caractères du réalisme scientifique et de l'empirisme. Selon le réalisme, les sciences décrivent une réalité objective, ce qui sous-entend une séparation nette entre l'apprenant et l'objet à apprendre. L'enseignement correspondant peut donc être basé sur la transmission des connaissances⁴³. Les connaissances sont contenues dans des documents ou dans la tête de l'enseignant et doivent être organisées dans un discours sous forme de messages. L'art d'enseigner réside dans l'habileté à fabriquer et à transmettre des messages dénués d'ambiguïté et, l'art d'apprendre, dans l'habileté du récepteur (l'élève) à extraire la signification du message capté par ses sens et à le mémoriser⁴⁴ (Zbidi, 2010).

Par ailleurs, selon l'empirisme, le savoir étant issu seulement de preuves ou de confirmations par des observations objectives permettant de découvrir des lois et des théories par induction, la primauté est accordée à la méthode expérimentale fondée sur l'observation et les faits. La qualité du travail et de l'appareil méthodologique utilisé fait valoir le succès d'une connaissance.

⁴³ Il s'agit du modèle pédagogique dit de *transmission-réception*. Il y a un émetteur (source de connaissance), un canal de transmission (paroles, textes) et un récepteur (apprenant).

⁴⁴ Par exemple, lors d'une lecture, c'est la compréhension de l'élève qui prédomine. « Dans ce cas, les propositions du texte semblent valoir pour elles-mêmes et indépendamment de tout contexte de recherche » (Fabre et Orange, 1997, p. 42).

C'est ainsi que, par amalgame, une posture épistémologique *empiricoréaliste* comprend les caractéristiques à la fois du réalisme et de l'empirisme (tableau 4). L'enseignant de S&T doit ainsi *montrer* pour être crédible, puisque la prétention est d'expliquer ce que l'on peut toucher; il choisit de montrer pour se démarquer de l'abstraction des sciences exactes comme les mathématiques. « Ce sont l'observation et l'expérience qui piloteront son enseignement, comme cela a prévalu longtemps dans la leçon de choses et comme cela reste encore bien souvent le cas » (Orange, 2012, p. 17). Il conçoit que la crédibilité des sciences expérimentales passe par leur capacité à produire des résultats conformes aux attentes ou aux théories, caractéristique qui peut se traduire par une utilisation exagérée de la logique formelle en guise d'argument d'autorité (Bomchil et Darley, 1998).

2.2.2.2 La posture socioconstructiviste

Reposant, entre autres, sur des repères épistémologiques plus modernes, plusieurs enseignants peuvent adopter une posture épistémologique *constructiviste*⁴⁵. Le paradigme constructiviste véhicule que l'objet des sciences n'est pas donné, mais résulte d'une construction intellectuelle. Le chercheur est un *inventeur*, plutôt qu'un *découvreur*, et les modèles et les lois sont des représentations mises au point par les humains et ne sont pas le reflet d'une réalité préorganisée ou d'une vérité absolue. Lors des expérimentations,

⁴⁵ Ne pas confondre avec le paradigme épistémologique du même nom, quoique la posture de l'enseignant découle de l'adhésion à ce paradigme.

l'instrument d'échange n'est donc pas la perception, comme le postule l'empirisme, mais bien l'action en elle-même.

Contrairement à la posture empiricoréaliste où les stratégies d'enseignement ne semblent que découler causalement des caractéristiques intrinsèques du réalisme et de l'empirisme, un aspect solide et distinctif de la posture constructiviste lui confère toute sa robustesse; elle offre une cohérence entre une épistémologie contemporaine et des avancées récentes en psychologie cognitive⁴⁶. De la même façon que les savoirs scientifiques s'élaborent par les chercheurs, les enseignements correspondants reconnaissent le rôle joué par l'apprenant, ce dernier construisant ses connaissances par l'interprétation. À l'échelle individuelle, cela se fait par l'interaction entre le sujet et l'objet. Pour leur part, les travaux en psychologie du développement ajoutent que l'apprentissage s'effectue aussi par une dimension sociale où l'interaction avec l'autre est déterminante⁴⁷. Cette contribution est primordiale pour les tenants de la posture constructiviste à dimension sociale – ou *socioconstructivisme*.

⁴⁶ Entre autres, l'ouvrage *Biologie et connaissance: essai sur les relations entre les régulations organiques et les processus cognitifs* de Piaget (1967), concernant le fonctionnement du cerveau lors des processus d'apprentissages, fournit une contribution majeure. Il montre que le développement cognitif se fait par des adaptations successives aux contraintes du milieu par l'action réciproque de ce qu'il appelle l'*assimilation* et l'*accommodation*. Par l'assimilation, les nouvelles connaissances sont reliées à celles qui existent déjà dans les structures cognitives. Par l'accommodation, les activités cognitives sont modifiées en transformant les schèmes d'action inopérants dans une nouvelle situation qui constitue une perturbation externe.

⁴⁷ Un concept-clé développé par Lev S. Vygotski (1896-1934) est le *conflit sociocognitif*, issu de la confrontation à un problème entre plusieurs personnes. Il est formateur dans la mesure où il permet à l'élève de prendre conscience du point de vue d'autrui et de reformuler le sien. Après avoir pris du recul sur le problème, il va construire son esprit en jugeant laquelle des solutions est la plus adéquate (Vygotski, 1980).

Une approche pédagogique et didactique moins dogmatique découle de manière cohérente de cette dernière posture :

La didactique, par les résultats de ses travaux, s'inscrit profondément en rupture avec les démarches d'enseignement et d'apprentissage des sciences fondées sur la mise en évidence des phénomènes et l'acquisition passive des connaissances par imprégnation naturelle (Robardet, 1998, p. 42)

Astolfi, Darot et Ginsburger-Vogel (1997) rappellent que dans le projet constructiviste, « le savoir ne peut être imposé, ni dogmatiquement, ni même par des pratiques de pseudo-dialogue pédagogiques » (p. 61). Pour être qualifié de *scientifique*, Darley (1996) ajoute que cet enseignement doit :

Amener ceux à qui il est destiné à distinguer ce qui relève du traitement scientifique d'un problème de ce qui est de l'ordre de l'affirmation, de l'opinion, du dogme, voire de la supercherie. C'est cette qualité qui va distinguer cet enseignement d'un enseignement dogmatique (p. 32)

L'enseignant peut mettre l'accent sur le processus plutôt que le produit. Puisqu'il est l'artisan de ses propres connaissances, l'élève doit obligatoirement être impliqué dans ses apprentissages. Il fabrique le savoir et est formé à résoudre des problèmes de la meilleure façon possible :

Les connaissances ne pourraient être envisagées par les élèves que si la tâche proposée par l'enseignant se mue en problème, au sens où il leur devient loisible d'utiliser leur compréhension spontanée, de mettre en forme leurs attentes et d'esquisser une ébauche d'explication qui guidera leur explication ultérieure (Zbidi, 2010, p. 43)

Le problème peut être un moyen de fragiliser une conception ou de la transformer. Il est, dans d'autres cas, l'occasion pour l'élève de se former à une démarche scientifique. Des discussions peuvent prendre place entre les élèves, provoquant un conflit sociocognitif, moteur de l'apprentissage.

En somme, l'idée que l'enseignant se fait des sciences et des activités des chercheurs, mais aussi des processus cognitifs impliqués dans l'apprentissage, influent sur l'approche pédagogique privilégiée. Abordons maintenant plus précisément l'impact de cette posture épistémologique sur les activités expérimentales scolaires.

2.2.3 La liberté d'action des élèves lors d'expérimentations

La posture épistémologique de l'enseignant peut se refléter directement dans le pouvoir décisionnel réservé à l'élève. Cependant, tout n'étant jamais simplement noir ou blanc, la nomenclature évoquée peut être considérée comme un spectre des postures, allant de l'empiricoréalisme au socioconstructivisme.

Lors de séances expérimentales *fermées* (tableau 1), l'élève est placé en situation d'exécuter des manipulations qui lui sont prescrites, d'effectuer des observations et des mesures, les conclusions semblant s'imposer d'elles-mêmes, lorsqu'elles ne sont pas connues d'avance. Il y a peu de place à la réflexion. On ne demande pas aux élèves d'essayer un protocole qui ne fonctionnera peut-être pas et ensuite de trouver la cause de l'échec, pour finalement recommencer. On les incite plutôt à exécuter une *recette* et à en analyser les résultats par la suite. Si l'activité prévoit l'émission d'hypothèses, elles ne peuvent être considérées comme véritables, parce qu'elles n'ont assurément que peu d'influence sur la suite du déroulement. Par principe d'économie, l'improvisation a intérêt

à être évitée, car elle n'est pas nécessaire pour atteindre l'état final, le produit. L'enseignant guide donc fortement le travail des élèves dans toutes les étapes allant jusqu'à l'évaluation. Il structure les avancées, car il est important pour lui de maîtriser d'éventuelles dérives le plus rapidement possible et d'écarter les fausses pistes. Les difficultés liées aux imprévus apparaissent ainsi de moins en moins à mesure que les séances se répètent. Ce sont ces raisons qui poussent certainement l'enseignant empiricoréaliste vers une méthode fermée, car il est impossible d'amener tous les élèves à formuler la même hypothèse en même temps pour vérifier la même chose. Il restreint donc les marches à suivre, et c'est pour cela que les méthodes fermées sont inéluctablement séquentielles.

Au contraire, les expérimentations dites *ouvertes* (tableau 1) misent sur l'émission par les élèves d'hypothèses réfutables. Puisque la primauté va au processus, ils sont plus libres quant à l'élaboration de protocoles et parfois même quant à la problématisation en amont. La présentation d'une mise en situation aux élèves est souvent le point de départ. Il peut s'agir d'une démonstration par l'enseignant, de lectures suggérées ou d'une question ouverte. Depuis trois décennies, plusieurs recherches tentent de réformer les expérimentations *recette* en les substituant par des activités pratiques basées sur l'apprentissage par investigation, ou *Inquiry Learning*. À la différence des traditionnelles séances manipulatoires détachées et autonomes, ces séances expérimentales peuvent constituer une partie indispensable d'un projet plus large et intégré dont les types peuvent être très variés. Par conséquent, ces expérimentations ouvertes où l'élève a un grand

pouvoir décisionnel reflètent plus justement la nature d'une démarche réelle d'un chercheur en sciences expérimentales.

2.3 Un enseignement scientifique fondé sur l'investigation

C'est une chose que d'analyser épistémologiquement les démarches des chercheurs, une autre d'en faire un objet d'apprentissage, et une autre encore de les mettre en pratique dans une classe. Visant l'authenticité des activités expérimentales, il est nécessaire pour l'enseignant désirant adapter en classe des pratiques scientifiques de mettre l'accent non seulement sur les savoirs, les techniques et les instruments, mais aussi sur les interactions sociales et les attitudes. D'ailleurs, ces dernières caractéristiques constitueraient même la clé de l'adaptation pour en arriver à ce que les élèves comprennent les processus scientifiques et sachent interpréter les produits des sciences (Edelson, 1998).

Cette section présente donc une approche pédagogique/didactique qui tient compte de cette préoccupation. Le cadre général est d'abord exploré. Ensuite, l'approche est décrite et la nécessité de l'expérience est discutée. La variété des démarches scolaires possibles est ultérieurement traitée et finalement, certaines contraintes d'application sont rapportées.

2.3.1 Un cadre général socioconstructiviste

Comme nous l'avons constaté, l'authenticité des activités expérimentales scolaires basées sur l'adaptation des pratiques scientifiques peut être argumentée à partir de repères épistémologiques contemporains, mais aussi à partir des apports récents en psychologie cognitive et du développement⁴⁸. Nous nous trouvons donc à la rencontre d'une double approche. Dans le même esprit que les théories socioconstructivistes, une approche pédagogique largement étudiée qui en est une du vécu ou dite expérientielle⁴⁹, par laquelle l'élève est amené à apprendre par la transformation de ses expériences, peut être à privilégier.

La psychologie cognitive démontre que ces connaissances sont assez souvent fortement engluées dans la mémoire globale des situations dans lesquelles elles se sont forgées et des actions et décisions qu'elles ont inspirées (Perrenoud, 2002, p. 51)

La raison pour laquelle l'authenticité reçoit tant d'attention est la reconnaissance que les connaissances et les compétences que les activités d'apprentissage produisent sont liées à la situation dans laquelle elles sont apprises. Lorsque les individus apprennent, ils utilisent les caractéristiques de la situation dans laquelle ils apprennent quelque chose pour indexer les connaissances dans leurs souvenirs afin qu'ils puissent accéder à ces connaissances à

⁴⁸ Rappelons que les idées évoquées précédemment au sujet du socioconstructivisme sont à l'origine de trois axiomes principaux, soit que :

- l'élève est l'artisan de ses propres connaissances;
- toute connaissance se construit sur la base de connaissances précédentes;
- la connaissance se construit grâce aux conflits sociocognitifs.

⁴⁹ Cette approche est basée, entre autres, sur le modèle de l'apprentissage et du développement cognitif décrit par Piaget et sur ceux de l'apprentissage expérientiel par l'action et l'entraînement basé sur l'interaction entre la personne et l'environnement de Kurt Lewin (1880-1947) et de John Dewey (1857-1952) (Kolb, 1984).

l'avenir. Si le contexte d'apprentissage reflète fidèlement le contexte dans lequel la nouvelle compréhension sera utile, la nature située de l'apprentissage profitera à l'apprenant et lui permettra de reconnaître les occasions d'appliquer l'apprentissage.

D'un fondement épistémologique, d'une évidence d'ordre psychologique qui met de l'avant les représentations des élèves et l'interaction avec les pairs (conflit cognitif et sociocognitif) et d'une conviction de la pertinence des stratégies d'enseignement qui visent à accompagner l'élève dans une situation proche du processus de production scientifique peut alors résulter une approche pédagogique et didactique moderne de plus en plus répandue, permettant un échange entre apprenants pour la construction de leurs savoirs et qui peut inclure, notamment, des séquences expérimentales.

2.3.2 Une approche authentique

Si l'on désire que l'élève agisse à la manière d'un chercheur, il faut le mettre en situation de recherche véritable. Une approche en ce sens est fréquemment nommée *les enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation*⁵⁰. Elle fait contraste avec la pédagogie de la redécouverte où la situation des « chercheurs » est tout à fait artificielle (Gohau, 1987). L'adaptation réussie de la pratique des chercheurs par une

⁵⁰ De anglais *Inquiry-Based Science Teaching; IBST*. En France, on parle plutôt de problèmes ouverts, de narration de recherche ou de situations complexes. Pour la suite de ce texte, l'acronyme ESFI (enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation) inclura ces terminologies, comme le suggère Grangeat (2013).

démarche d'investigation vécue en classe place les outils et les techniques dans les mains des élèves dans un contexte qui reflète la socialité de la pratique scientifique. Cette démarche est à la fois objet et moyen d'enseignement.

Si l'on vise que l'élève découvre (ou invente) vraiment et apporte un résultat inédit, il est évidemment impossible de lui faire effectuer une expérience préformatée. Puisque les sciences constituent une recherche de questions auxquelles nous n'avons pas encore de réponses, et que les techniques et les résultats des recherches sont sujets à de constantes remises en question, Edelson (1998) souligne qu'une attitude scientifique à reproduire impérativement lors de la transposition didactique est l'esprit d'incertitude. L'ESFI est une approche pédagogique et didactique qui s'oppose à la *pédagogie de la bonne réponse* et propose à l'élève une démarche proche de celle des chercheurs en permettant une entrée se heurtant directement à la complexité et opérant par approximations successives :

Cette approche tolère explicitement des zones d'ombre ou de flou et des éclairages ponctuels, elle procède par tri et « structuration » de connaissances qui ont au départ des statuts très diversifiés et non questionnés (Larcher et Peterfalvi, 2006, p. 828)

Pour une appropriation individuelle, l'activité cognitive est incontournable et est davantage sollicitée explicitement que les méthodes traditionnelles (Larcher et Peterfalvi, 2006). C'est compte tenu de ce que l'élève sait déjà, mais aussi d'idées préalables qui font obstacle, qu'un problème peut exister, avec sa résolution possible par les élèves :

Mener une recherche, c'est tenter de répondre à des questions incluses dans une problématique. Ce n'est pas uniquement trouver des informations, c'est aussi les traiter, c'est-à-dire les mettre en relation avec le problème qui nous concerne et les utiliser pour élaborer une réponse aux questions que l'on se pose (De Vecchi et Carmona-Magnaldi, 2002, p. 32)

Tout comme les chercheurs, les élèves construisent aussi de la connaissance et de la compréhension au cours de la pose et de l'étude des questions de recherche. Lors d'un projet de recherche, avant d'entreprendre toute enquête, ils doivent acquérir suffisamment de connaissances pour poser des questions bien encadrées. L'exploration d'un objet ou d'un phénomène et la familiarisation avec des faits ou des gestes sont cruciales et souvent un préalable, car elles permettent ultérieurement la construction de l'espace du problème, et donc l'initiation de l'investigation (Larcher et Peterfalvi, 2006, p. 831). Vient ensuite une expérimentation de type hypothéticodéductive organisée par des hypothèses. Typiquement, au cours de la réalisation de l'investigation, les élèves doivent maîtriser les outils et les techniques qui leur permettent de générer et d'analyser des données significatives. Le résultat de ces activités d'apprentissage est une connaissance des élèves fermement située dans un contexte qui renforce à la fois l'applicabilité et la valeur de cette connaissance.

L'ESFI se démarque aussi d'une pédagogie magistrale, qui laisse peu de place au travail collectif. Nous avons constaté que les sciences ne sont pas que des recherches individuelles. Cela inclut le partage de résultats, de soucis et de questions à la communauté de chercheurs. Ces interactions sont un mélange de coopération et de concurrence, d'accord et d'argumentation, à la manière de toute activité sociale humaine. Mais les programmes actuels le permettent-ils?

On voit mal alors comment un savoir scolaire qui ne serait pas l'objet de discussions au sein de la classe et de confrontations aux connaissances empiriques des élèves, même si elles ne sont pas proprement expérimentales, pourrait prétendre à un véritable statut scientifique (Fabre et Orange, 1997, p. 41)

Pour pouvoir travailler ensemble, les élèves doivent développer un vocabulaire et un cadre pour leur compréhension qui leur permet de communiquer clairement au sujet des connaissances qu'ils développent.

Par ailleurs, puisque les sciences efficaces sont toujours caractérisées non pas seulement par une action, mais par une forte implication des personnes (Edelson, 1998), de la même façon qu'un chercheur poursuit des buts personnels importants, l'élève doit être engagé au maximum dans la résolution du problème. Ainsi, l'adaptation des pratiques scientifiques devrait forcément encourager ces attitudes pour prétendre à l'authenticité⁵¹. En somme, les élèves devraient avoir l'occasion de travailler conjointement sur des questions qui représentent une réelle incertitude dans leur monde. De plus, pour qu'ils se sentent engagés, le problème complexe devrait être ramifié de façon signifiante dans leurs systèmes de valeurs. Cela est absolument possible par un ESFI.

Comparativement à des approches plus traditionnelles, la cohérence entre l'objet et le moyen d'enseignement résulte en l'amélioration des connaissances relatives à la nature épistémologique des sciences chez les élèves (Coquidé *et al.*, 1999). De plus, ces derniers obtiennent de meilleurs résultats, ou au moins égaux, aux tests de connaissances conceptuelles, procédurales et de capacité de raisonnement (Blanchard *et al.*, 2010; Colburn, 2000; Hofstein et Lunetta, 2004; Minner, Levy, et Century, 2010; Wu et Hsieh,

⁵¹ D'ailleurs, une vague de recherches basées sur l'apprentissage par investigation tente actuellement de réformer les expériences fermées de type *recette* ou *Cookbook Labs* afin de permettre une plus grande implication des élèves (Langlois, 2008).

2006), et ils ont une meilleure rétention à long terme de ces connaissances (Blanchard *et al.*, 2010). Ils ont une attitude plus positive envers les sciences et cela augmente l'intérêt en classe (Hasni et Potvin, 2015) et pour les carrières scientifiques (Gibson et Chase, 2002; Lin, Hong, et Cheng, 2009).

En somme, l'ESFI est une approche résolument socioconstructiviste. Elle permet aux élèves d'enquêter sur des questions ouvertes pour lesquelles ils sont véritablement concernés, en utilisant des démarches analogues à celles des scientifiques, dont l'expérimentale⁵². Les questionnements de l'enseignant sont la clé de cette approche pédagogique assez large.

2.3.3 La nécessité de l'expérience

Agir peut être entendu par les enseignants comme une activité se résumant à faire des travaux pratiques dans une situation essentiellement définie par des objets à manipuler. Or, s'ils cherchent à construire des connaissances sur le monde parfois par la technique, les scientifiques ne sont pas pour autant toujours *expérimentateurs*. Orange (2002) titre même un article *L'expérimentation n'est pas la science!* où il explique que bien que systématiquement mise en avant, l'expérimentation n'est pas la caractéristique fondamentale des méthodes scientifiques. On a vu comment l'expérience pouvait servir

⁵² L'ESFI n'est pas exclusive et peut, par exemple, s'emboîter à une approche par résolution de problèmes et comprendre ainsi des dispositifs pédagogiques tels que des *problèmes ouverts* ou des *situations-problèmes*. Ceux-ci seront discutés ultérieurement au quatrième chapitre.

en classe d'argument d'autorité⁵³. Ce primat des résultats expérimentaux fait remarquer à Coquidé (1998) que chez les enseignants, « l'importance donnée aux aspects concrets ou manipulatoires entraîne des confusions entre investigation et expérimentation » (p. 121). Il est ainsi fréquent d'entendre d'un enseignant, mettant en action par des activités ses élèves, qu'ils sont en *investigation*, en *situation de recherche*, et ce, de bonne foi. Cross (2013) émet l'hypothèse que les démarches d'investigation subissent un glissement vers la centration manipulatoire en raison des représentations des enseignants pour cette démarche qui croient que la mobilisation des connaissances n'en fait pas partie. Qui plus est, comme discuté auparavant, la présence formelle d'une hypothèse ne garantit pas la présence d'une démarche expérimentale s'il ne s'agit pas d'une tentative risquée, avancée avec incertitude par des élèves, pour tenter de se dépêtrer d'une énigme scientifique par leurs propres forces⁵⁴. Prendre conscience de cela permet d'éviter la rigidification de la démarche scientifique scolaire en méthode uniquement manipulatoire figée et de donner aux expériences toute leur importance dans la formation de l'esprit scientifique des élèves. Décivant la première compétence à développer en S&T au deuxième cycle du secondaire qui est de « chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique », le PFEQ rappelle qu'elle met l'accent « sur la méthodologie utilisée

⁵³ Au milieu du XIX^e siècle, le père de la philosophie positiviste Auguste Comte rejette les méthodes non expérimentales pour la description de la réalité et indique que l'un des critères importants de tout savoir scientifique est que ce dernier doit être confronté à l'expérience pour acquérir une certaine validité scientifique (Cariou, 2010). Le positivisme connaissant un grand essor, une stratégie pédagogique a été calquée sur cette vision des sciences, mettant l'accent à partir de cet instant, par le culte du fait et de l'expérience, sur les activités expérimentales scolaires, parfois appelées *expériences de laboratoire*.

⁵⁴ [Commentaire] Il ne faut pas oublier que nous avons tout de même fait des gains par rapport aux décennies précédentes. Parfois, et comme c'est encore le cas dans plusieurs pays, les sciences étaient enseignées de manière uniquement théorique.

en science et en technologie pour résoudre des problèmes. Elle est axée sur l'appropriation de concepts et de stratégies au moyen de démarches où la manipulation occupe une place centrale⁵⁵ » (Gouvernement du Québec, 2007, p. 3).

Puisque trop de technique masque évidemment les sciences, se retranchant derrière la technique, l'enseignant peut perdre l'état d'esprit sous-jacent et les enjeux de la culture scientifique⁵⁶. En focalisant exclusivement sur l'expérimentation, comment pourrait-on imaginer qu'une démarche scientifique scolaire authentique par investigation laisse de côté une multitude d'activités riches, telle la recherche documentaire, quand nous savons qu'un chercheur emploie plus de la moitié de son temps à lire (Gil-Perez, 1993, p. 53)?

Le terme *investigation* a le mérite de recouvrir des activités diverses (recherche documentaire, modélisation, expérimentation, simulation, discussions critiques) et si on y ajoute réalisation, on dispose de types d'activités dans lesquelles engager, en sciences et en technologie, les élèves de l'école et de collège et sans doute bien au-delà (Larcher et Peterfalvi, 2006, p. 829)

Comme le souligne Gil-Perez (1993), la résolution, entre autres, de problèmes papier/crayon ou l'introduction de concepts demandent aussi, dans une optique constructiviste, une approche scientifique.

⁵⁵ Il est souligné que cette compétence se rattache aux aspects pratiques et méthodologiques (Gouvernement du Québec, 2007). Cependant, il faut noter que le terme *manipulation* ne renvoie pas exclusivement aux expériences à effectuer en laboratoire.

⁵⁶ Gohau (1987) souligne ainsi qu'« il serait stupide et dangereux de vouloir expérimenter constamment. C'était précisément le défaut de la redécouverte de vouloir tout retrouver par la manipulation » (p. 61).

2.3.4 La variété des démarches

Les démarches et les activités propres aux sciences étant elles-mêmes multiples, leur apprentissage ne se fait pas par un seul type d'approche. Viser l'authenticité en classe revient à varier les méthodes de test de l'hypothèse :

La complexité des pratiques scientifiques ainsi que la variété des approches théoriques et conceptuelles impliquent, *a priori*, pour que les élèves apprennent au mieux ce qu'est la science en faisant de la science, une variation des approches en classe, une multiplicité des manières de faire, et donc une variété de postures et de travaux (Calmettes, 2013, p. 223)

Concernant le programme de S&T au deuxième cycle du secondaire, un éventail de démarches est proposé par le PFEQ qui illustre cette diversité (Gouvernement du Québec, 2007). Sont présentées les démarches de modélisation, d'observation, **expérimentale**, empirique, de construction d'opinion, de même que les démarches technologiques de conception et d'analyse⁵⁷. Elles ne sont pas linéaires et supposent un va-et-vient entre les diverses étapes du processus d'investigation (p. 25). De telles démarches nécessitent également des va-et-vient et des ruptures entre le modèle, les observations et les expériences. Il devient donc évident que l'application d'une méthode scientifique unique n'offre pas cette possibilité d'adaptation.

⁵⁷ Elles correspondent essentiellement aux façons de faire dans un contexte de résolution de problèmes en S&T (Gouvernement du Québec, 2007). Ces démarches ne doivent pas être mises en œuvre isolément, mais dans des situations d'apprentissage et d'évaluation qui font appel à plusieurs d'entre elles. Certaines de ces démarches demandent parfois la construction de modèles, à la suite de la confrontation avec des situations de terrain ou de laboratoire (p. 25).

Quant aux manipulations, elles sont envisagées plus spécifiquement durant les démarches expérimentales et de conception⁵⁸ (Gouvernement du Québec, 2007). La démarche expérimentale est décrite comme impliquant tout d'abord :

La formulation de premières explications. Elle permet d'amorcer une tentative de réponse et de définir le cadre dans lequel se fera l'expérimentation. L'élève doit ensuite s'engager dans l'élaboration d'un protocole expérimental dans lequel il reconnaîtra un certain nombre de variables en vue de les manipuler. Le but du protocole sera de faire émerger des éléments observables ou quantifiables, de les mettre en relation et de les confronter aux hypothèses. Les interactions entre les diverses phases de la démarche expérimentale permettent de soulever de nouveaux questionnements, de formuler de nouvelles hypothèses, d'apporter des ajustements à sa mise en œuvre et de prendre en compte les limites de l'expérimentation (Gouvernement du Québec, 2007, p. 25)

Nous pouvons ainsi constater que la démarche expérimentale telle qu'énoncée par le PFEQ ne valorise pas seulement le recours aux mesures et l'acquisition de techniques. Ayant pour axe central la succession *problème* → *hypothèses* → *expérience*, le canevas préconisé y est de type hypothéticodéductif.

En résumé, parce qu'elle est plus un simple exercice de logique ou de vérification empirique, l'expérimentation scientifique est une manière de résoudre certains problèmes parfois par la mise en place d'une expérience (lorsque cela est possible et requis). C'est un processus qui permet d'aboutir à la construction de connaissances nouvelles et il est possible de le transposer en classe.

⁵⁸ Cette démarche consiste généralement en la création d'un objet à la suite du suivi ou de l'élaboration d'un cahier de charges.

2.3.5 Le choix enseignant et les contraintes d'application

Dans quelle mesure les enseignants devraient-ils tenir compte de cette démarche expérimentale selon le cheminement proposé par le PFEQ? Il est vrai que ce programme scolaire « se situe essentiellement sur le plan du quoi, c'est-à-dire de ce qui est visé, et du pourquoi, autrement dit de ce qui légitime certains choix, et non sur le plan du comment, c'est-à-dire des manières diversifiées d'en assurer la mise en œuvre » (Carbonneau et Legendre, 2002, p. 12). Les modalités ne sont donc pas spécifiées et c'est à l'enseignant de les définir. Néanmoins, comme le programme a pour objet de préciser les finalités de l'éducation scolaire qui sont l'expression de choix sociaux négociés en fonction d'enjeux variés, il est légitime de penser qu'un enseignant professionnel a le devoir de faire ce qu'il peut pour utiliser ou élaborer des situations d'apprentissage et d'évaluation significatives et adaptées aux exigences du programme. Il devrait ainsi faire vivre à ses élèves la démarche expérimentale qui est expliquée très clairement comme un outil de recherche de réponses. Toutefois, il reste le maître à bord et il lui incombe de faire des choix pédagogiques.

Hélas, malgré les avancées en matière de pédagogie et de didactique, tel qu'ont été dénoncées les pratiques dans la problématique, de nombreux auteurs relèvent que les enseignants continuent aujourd'hui encore de privilégier un enseignement assez traditionnel dans lequel ni le caractère construit et social du savoir scientifique, ni le statut psychocognitif des élèves (en tant que coconstructeurs du savoir) ne sont considérés (Désautels, Larochelle, Gagné, et Ruel, 1993; Eurydice, 2006; Millar, 2010; Séré *et al.*,

1998; Singer *et al.*, 2005; Tiberghien *et al.*, 2001; Vincent *et al.*, 2006). Une démarche authentique de chercheur par de véritables démarches d'investigation n'est que très peu vécue par les élèves.

2.3.5.1 Les contraintes

Les choix d'activités effectués par les enseignants ont été largement étudiés. De multiples contraintes à l'ESFI sont évoquées et ont été identifiées. Elles peuvent être regroupées en trois classes.

Il existe d'abord des contraintes dites *personnelles*, telles que la formation et le vécu des enseignants. Il est reconnu qu'un lien entre les croyances et les pratiques est ordinairement présent chez les enseignants. Or, de nombreux travaux portant sur les rapports aux savoirs, les croyances épistémologiques, l'approche du réel et l'idée de sciences révèlent que la posture épistémologique majoritaire chez les enseignants de S&T est essentiellement de nature empiricoréaliste (Bomchil et Darley, 1998; Cariou, 2010; Darley, 1996; Desautels et Larochelle, 1993; Munoz et Clément, 2007; Robardet, 1998; Singer *et al.*, 2005; Therriault, 2008; Verhaeghe *et al.*, 2004; Zbidi, 2010). Tentant une explication, Bomchil et Darley (1998) avancent que les enseignants n'ont qu'exceptionnellement une expérience personnelle de la recherche scientifique : « ils sont contraints d'enseigner une démarche qu'ils ne connaissent qu'au travers de leur propre expérience de travaux pratiques universitaires » (p. 93). Plusieurs auteurs ont relevé

également qu'un manque de formation épistémologique pour les enseignants scientifiques était à l'origine de lacunes qui ont des répercussions directes sur la pratique de la démarche expérimentale (Giordan et Girault, 1994; IGEN, 2007). Edelson (1998) en ajoute quant à la préparation des enseignants; il souligne que leur formation ne les a pas préparés à de nouveaux rôles dans lesquels ils doivent impliquer les élèves dans des sciences incertaines, les aider à formuler et à affiner les questions de recherche, identifier les ressources et les outils qui leur permettront d'élargir leur compréhension et de favoriser, par exemple, un débat scientifique authentique. Cariou (2010) invoque la « peur des cheminements aventureux » (p. 56).

Depuis le Renouveau pédagogique au Québec, cette tendance dominante a poussé les programmes de formation des maîtres à mettre l'accent sur le comblement de ces lacunes. Ainsi, Thériault et Harvey (2011) ont remarqué un développement des croyances et l'émergence de considérations constructivistes chez les futurs enseignants de S&T en fin de formation. Le raffinement épistémologique se développe également entre le début et la fin de la formation universitaire (Ruel *et al.*, 1997). Néanmoins, des écarts sont tout de même remarqués entre les croyances et la pratique, souvent conflictuels pour les étudiants en enseignement à la fois à l'université et en emploi ou en stage (Flores, 2001; Mellado, 1997; Thériault et Harvey, 2011). Ainsi, Zbidi (2010) fait remarquer que, même délivré par un enseignant de sciences expérimentales ayant suivi une formation didactique, un fondement réaliste et une tentation empirique forte, fondée sur des savoirs dogmatisés et argumentés par une logique formelle, sont les caractéristiques premières de son

enseignement. Donc, si l'on considère que ce sont – logiquement – des enseignants voyant les sciences comme socioconstruites qui sont en mesure de proposer aux élèves des activités expérimentales cohérentes avec cette posture, plusieurs études rapportent que les conceptions modernes de ces enseignants ne se retrouvent pas toujours dans leurs pratiques de classes (Gess-Newsome, 1992; Guilbert et Meloche, 1993; Lederman et Zeidler, 1987; Therriault, 2008). Il existerait donc rationnellement des contraintes liées à l'application concrète, puisque l'adoption d'une posture épistémologique socioconstructiviste ne semble pas être suffisante pour assurer une approche pédagogique du même nom.

En effet, les choix opérés par l'enseignant sont également fonction de contraintes dites *extérieures*, telles que celles liées à l'organisation institutionnelle (le respect d'un curriculum chargé découpé en contenus décontextualisés, le temps restreint, les évaluations ministérielles (surtout au deuxième cycle), les thèmes ne se prêtant pas tous à une investigation fructueuse (certaines questions à traiter trop élaborées pour être énoncées par les élèves)), les contraintes matérielles et techniques (les ressources, les outils et les techniques appropriés à l'apprenant) et didactiques (le temps beaucoup plus court, la dévolution et la crédibilité du problème, les hypothèses devant être testables expérimentalement, l'évaluation difficile et complexe) (Arcà et Caravita, 1993; Bomchil et Darley, 1998; Désautels, 2007; Edelson, 1998; Larcher et Peterfalvi, 2006).

Par ailleurs, Calmettes (2013) a relevé des obstacles que des enseignants et des stagiaires en enseignement déclarent avoir repérés dans la mise en œuvre de séances axées sur l'investigation. Entre autres, le temps de préparation requis élevé et le matériel insuffisant ont été évoqués dans respectivement 43 % et 46 % des cas. Ajoutons à cela que le MÉES autorise les institutions scolaires à utiliser le matériel pédagogique approuvé et développé par les maisons d'édition, alors que celles-ci fournissent des fiches de travaux pratiques (parfois appelés *laboratoires scientifiques*) toutes prêtes, mais fortement cadrées et peu propices à une approche pédagogique et didactique socioconstructiviste. Cela combiné au manque de temps en général relié à l'alourdissement de la tâche, il semble censé que des enseignants aillent à l'essentiel et préfèrent aborder en entier les concepts prescrits pour l'évaluation du ministère (Désautels, 2007; Vincent *et al.*, 2006).

Enfin, notons que si une posture épistémologique socioconstructiviste de la part de l'enseignant n'est en aucune manière une condition suffisante à la mise en œuvre d'une approche pédagogique et didactique socioconstructiviste, elle n'en demeure pas moins évidemment l'une des conditions nécessaires. En raison des multiples contraintes, la transposition des pratiques sociales de référence en classe étant perçue comme plus complexe et difficile à réaliser, par principe d'économie nous constatons un glissement unilatéral de l'enseignement vers les expérimentations plus traditionnelles.

2.4 Les objectifs

Ce projet de maîtrise professionnelle s'intéresse à la mise en lumière des caractéristiques des pratiques sociales de référence en sciences expérimentales à transposer en S&T au secondaire, ainsi qu'au rapport entre la posture épistémologique de l'enseignant et son choix d'approche pédagogique/didactique lors d'expérimentations. Les fondements et le cadre général de réalisation d'une approche tenant compte à la fois d'une transposition authentique des pratiques des chercheurs scientifiques et des avancées récentes en pédagogie et en didactique, l'ESFI, ont été également explorés.

En dépit de perspectives encourageantes et novatrices, eu égard à la problématique soulevée, pour de nombreux enseignants de S&T, fournir aux élèves la possibilité de vivre de véritables démarches expérimentales axées sur l'investigation ne fait pas partie de leur pratique actuelle. Le changement d'approche nécessite un soutien important. Étant donné que la posture épistémologique des enseignants est de plus en plus à tendance socioconstructiviste (une condition nécessaire, mais pas suffisante), que souvent cela ne se reflète pas dans leurs pratiques, et que la charge de travail élevée a pour effet de les contraindre à choisir ou à adapter des activités déjà élaborées, ce pourrait-il que les dispositifs proposés par les maisons d'édition n'offrent pas le soutien nécessaire pour un ESFI par une transposition authentique des pratiques sociales de référence en sciences expérimentales?

Malgré le fait que les éditeurs se réclament systématiquement du Renouveau pédagogique dans l'introduction de leur matériel didactique, et que l'approbation ministérielle est obligatoire pour leur utilisation, peu d'écrits analysant des activités proposées sont disponibles. Cela justifie l'intérêt d'en examiner un.

Nos principaux objectifs sont :

- 1) Examiner si les caractéristiques des pratiques en sciences expérimentales sont transposées en classe de S&T au secondaire dans un dispositif^{59,60} précis.
- 2) Expliquer l'influence de la posture épistémologique de l'enseignant de S&T sur le choix de dispositif lors d'expérimentations.

Un objectif secondaire sera d'évaluer si le dispositif retenu peut être intégré de manière cohérente dans un ESFI.

⁵⁹ Meunier (1999) définit un dispositif comme un ensemble de moyens mis en œuvre dans un but explicite, du moins dans l'esprit de son concepteur. C'est « une articulation d'éléments hétérogènes, matériels et symboliques. [II] est le résultat d'un travail d'ingénierie qui prévoit les outils sémiotiques ou instrumentaux à mettre à la disposition du sujet » (Weisser, 2010, p. 292).

⁶⁰ L'ESFI est une approche qui se centre à la fois sur le sujet apprenant et ses relations sociales (versant pédagogique), et sur l'épistémologie plus spécifique à la didactique des sciences. Par souci de concision, nous utiliserons donc pour l'instant le terme *dispositif* (sans distinction pédagogique ou didactique) pour décrire l'outil physique (le matériel) sélectionné par l'enseignant, possiblement distribué sous forme imprimée.

CHAPITRE III

LA MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre consiste à exposer les choix qui ont été faits dans le cadre d'un deuxième stage du programme de maîtrise qualifiante en enseignement de la S&T au secondaire de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Dans la première section, nous expliquons le choix du dispositif. La seconde section présente l'analyse pédagogique et didactique qui a été effectuée.

3.1 La situation⁶¹

Sont relatées ici les caractéristiques des groupes d'élèves qui ont vécu l'activité. Également, les raisons en amont qui ont mené au choix du dispositif sont précisées.

⁶¹ Pour Weisser (2010), la *situation* correspond « à ce qui est effectivement réalisé, à ce qui est vécu par les protagonistes de la relation éducative, ici et maintenant » (p. 294). Comme cet essai tient à la fois compte des caractéristiques des apprenants (apprentissage) et des conditions pour l'enseignant à mettre en place, le terme générique *situation* est utilisé.

3.1.1 Les apprenants

Le stage s'est déroulé auprès de quatre groupes d'élèves de quatrième secondaire du secteur régulier en science et technologie de l'environnement (STE). Comme l'ESFI nécessite une mise en œuvre laborieuse et des activités cognitives de haut niveau, pour maximiser les chances de réussite, il est logique de souhaiter proposer les activités les plus complexes à une clientèle relativement âgée (15-16 ans) ayant une bonne capacité académique. Ces élèves de quatrième secondaire semblaient donc tout désignés pour l'étude d'une activité pouvant potentiellement relever d'un ESFI.

3.1.2 Le choix du dispositif

Pearson ERPI (Éditions du renouveau pédagogique inc.) est une maison d'édition procurant du matériel didactique utilisé par les enseignants au Québec, dont ceux de l'établissement scolaire où s'est déroulé le stage. Elle offre deux types de planification globale. La première, plus traditionnelle, est basée sur les contenus du manuel à aborder selon une séquence linéaire, fournissant des *fiches de laboratoires scientifiques* (appendice A) à utiliser tel quel ou à modifier. Ces dernières sont identifiées selon la démarche utilisée (type de laboratoire), dans les mêmes termes que les instructions

officielles du PFEQ (expérimentale, d'observation, empirique, de modélisation, de construction d'opinion, technologique d'analyse et industrielle (de conception))⁶².

Une seconde planification proposant des activités plus ouvertes, telles que des *situations d'apprentissage et d'évaluation* (SAÉ), est aussi offerte. Utilisée tout au long de l'année scolaire, cette planification permettrait de voir les mêmes notions, de façon plus éclectique, les activités touchant plusieurs concepts dans différents chapitres à la fois. Afin de vérifier la disponibilité de ressources cohérentes avec l'ESFI pour les enseignants, l'idée est d'étudier un dispositif suggéré par l'éditeur qui a le plus de chance de transposer authentiquement les pratiques sociales de référence. Dans l'éventail des activités possibles, une SAÉ est évidemment la plus susceptible de se rapprocher d'une véritable investigation scientifique. Comme attendu, contrairement aux *fiches de laboratoires scientifiques*, ces SAÉ ne sont toutefois pas clairement catégorisés par un type de démarche en particulier.

Nous avons fait le choix d'étudier une SAÉ qui suggère l'expérience en guise d'expérimentation et qui a été utilisée au cours du deuxième stage. Elle se nomme *Le confort au foyer* (appendice B) et aborde les concepts d'énergie et de rendement énergétique qui sont, dans ce cas d'exception, uniquement des notions contenues dans un

⁶² Nous intéressés à la transposition des pratiques des chercheurs en sciences expérimentales, nous avons effectué un examen préliminaire des fiches présentant l'*expérimentation* comme type de laboratoire. Sans surprise, cela nous a permis de remarquer qu'elles sont systématiquement basées sur une expérience *fermée* et obligatoire de type *recette de cuisine* et selon un canevas commun. Ces outils relèvent d'une approche déjà caractérisée dans la problématique que nous pouvons déjà pressentir comme étant éloignés d'un ESFI, et nous ne les analyserons pas davantage.

seul chapitre du manuel. Il est prévu que les élèves la réalisant testent les pertes de chaleur, et donc la performance de différents isolants thermiques résidentiels. Comme les SAÉ fournies par cet éditeur sont toutes élaborées exactement sur le même patron d'étapes expérimentales, nous considérons que l'analyse d'une seule SAÉ sera suffisante et représentative de l'ensemble.

3.2 L'analyse

Cette section traite de l'analyse pédagogique et didactique effectuée à partir de la SAÉ utilisée. Des critères d'authenticité sont d'abord identifiés. La méthode d'explication de l'influence de la posture épistémologique de l'enseignant sur son choix de dispositif comprenant des expérimentations est ensuite présentée. Les modalités d'évaluation de la validité d'intégration à un ESFI du dispositif sont subséquemment précisées. Enfin, l'analyse de l'intervention vécue durant le stage est expliquée.

3.2.1 Les critères d'authenticité du dispositif

Afin d'arriver à interpréter la présence des caractéristiques des pratiques sociales de référence en sciences expérimentales transposées dans le dispositif proposé aux élèves, il faut inévitablement en définir des critères d'authenticité. Pour ce faire, nous utiliserons une grille d'analyse sous forme de questions, selon les quatre thèmes précédemment étayés (tableau 4).

Tableau 4. Grille d'analyse de la présence d'activités propres à la démarche scientifique⁶³

1. Le problème, instrument de création de savoirs scientifiques	<ul style="list-style-type: none"> • Demande-t-on une réflexion sur l'intérêt possible des situations proposées qui donne du sens à leur étude et qui favorise l'engagement (en considérant, par exemple le franchissement d'un obstacle épistémologique, leur relation avec l'activité, ou encore les applications possibles en Sciences-Techniques-Société, etc.)? • Demande-t-on, la lecture critique de textes scientifiques? • Propose-t-on la réalisation d'analyses qualitatives qui aident à comprendre et à préciser les situations proposées (à la lumière des connaissances disponibles) et à formuler des questions pertinentes sur ce que l'on cherche? • Propose-t-on un déroulement où l'expérience (les manipulations) n'est pas centrale et est plutôt envisagée comme moyen de résoudre un problème par la recherche de preuves (au même titre, par exemple, qu'une recherche documentaire)?
2. La démarche expérimentale fonctionnant sur un mode de pensée hypothéticodéductif	<ul style="list-style-type: none"> • Demande-t-on la construction d'hypothèses réfutables (en fonction des préconceptions explicitées) susceptibles d'orienter le traitement de la situation? • Amène-t-on l'élève à interpréter ses résultats selon une logique déductive et se limitant aux domaines de validité des hypothèses?
3. Une démarche ouverte aux possibles	<ul style="list-style-type: none"> • Demande-t-on l'élaboration de stratégies (au pluriel) pour la mise à l'épreuve des hypothèses, en incluant, le cas échéant, des montages expérimentaux? • Exerce-t-on l'élève à effectuer des tâtonnements et des va-et-vient entre différentes phases expérimentales?
4. La dimension collective du travail scientifique privilégiée	<ul style="list-style-type: none"> • Organise-t-on des équipes de travail où les phases de recherche sont élaborées entre pairs? • Facilite-t-on l'interaction des équipes avec la communauté scientifique (représentée dans la classe par les autres équipes et possiblement l'enseignant comme expert) par la communication des idées individuelles et la confrontation des points de vue? • Demande-t-on l'élaboration et la présentation de comptes rendus, d'exposés ou de mémoires scientifiques du travail réalisé?

⁶³ Adapté de Gil-Perez (1993), initialement utile pour la prévision et l'application d'activités pédagogiques sous forme de projets de recherche.

3.2.2 L'influence de la posture épistémologique de l'enseignant sur son choix de dispositif lors d'expérimentations

Afin de préciser le rapport entre la posture épistémologique de l'enseignant de S&T et son choix de dispositif, l'influence de cette posture sur les activités expérimentales est expliquée théoriquement et ce, à chacun des critères d'authenticité précédemment identifiés. Les deux postures principales sont ainsi comparées sous un angle qui se veut davantage praxéologique pour saisir comment elles peuvent se traduire effectivement en classe. Cette distinction permettra de dégager plus concrètement les repères à retenir pour un enseignant ayant assurément à faire des choix.

3.2.3 La validité du dispositif pour un ESFI

Dans le but de parvenir à examiner si le dispositif peut être intégré de manière cohérente dans un ESFI, une précision concernant sa typologie exacte est d'abord apportée. Cela permet d'en comprendre l'utilité selon l'objectif de formation. Par la suite sont soumises des suggestions d'amélioration de la SAÉ pouvant s'appliquer aux autres dispositifs du même genre. L'idée est de proposer aux enseignants désirant tenir compte d'une épistémologie moderne des sciences et des caractéristiques psychocognitives des élèves un cadre de compréhension nécessaire à une bonne utilisation ou à une adaptation des dispositifs⁶⁴ déjà fournis par leur institution scolaire

⁶⁴ Comprenant le matériel pédagogique/didactique

3.2.4 Une analyse *a posteriori*

De façon complémentaire, une analyse qualitative *a posteriori*⁶⁵ à dimension praxéologique est effectuée. Puisque le dispositif retenu a été utilisé en classe durant le stage, afin de mieux comprendre le système de contraintes et de conditions qui pèsent sur le pilotage de la classe par l'enseignant, il est intéressant de relater comment s'est effectivement déroulée l'activité. Selon Orange (2006), « une telle analyse [*a posteriori*] a pour but de dégager et de comprendre les décalages entre ce qui était prévu et ce qui s'est produit. Elle vise à repérer des contraintes et des nécessités portant sur l'action didactique⁶⁶ » (p. 127). Elle peut ainsi permettre de constater certains effets de ce type de SAÉ, ce qui offre l'avantage de possiblement comprendre la causalité de quelques réactions créées chez les élèves lors du déroulement. Les fruits de cette analyse sont présentés au cinquième chapitre. Un résumé de la logique d'analyse est schématisé à la figure 2.

⁶⁵ Henry (2006) définit ce type d'analyse comme « l'ensemble des informations issues de l'observation et de la gestion d'une séquence d'enseignement qui concourent à la connaissance didactique des conditions d'apprentissage des savoirs en jeu [...] Relative aux outils de recueil de l'information et aux modalités de son exploitation [elle est] faite pour relier les faits observés aux objectifs définis *a priori*, dans le cadre des théories didactiques, et pour évaluer leur reproductibilité » (p. 2).

⁶⁶ Sensevy (2006) définit l'action didactique comme « une action organiquement relationnelle, entre professeur, élèves, et savoirs, que l'on doit [...] décrire comme une action conjointe » (p. 205).

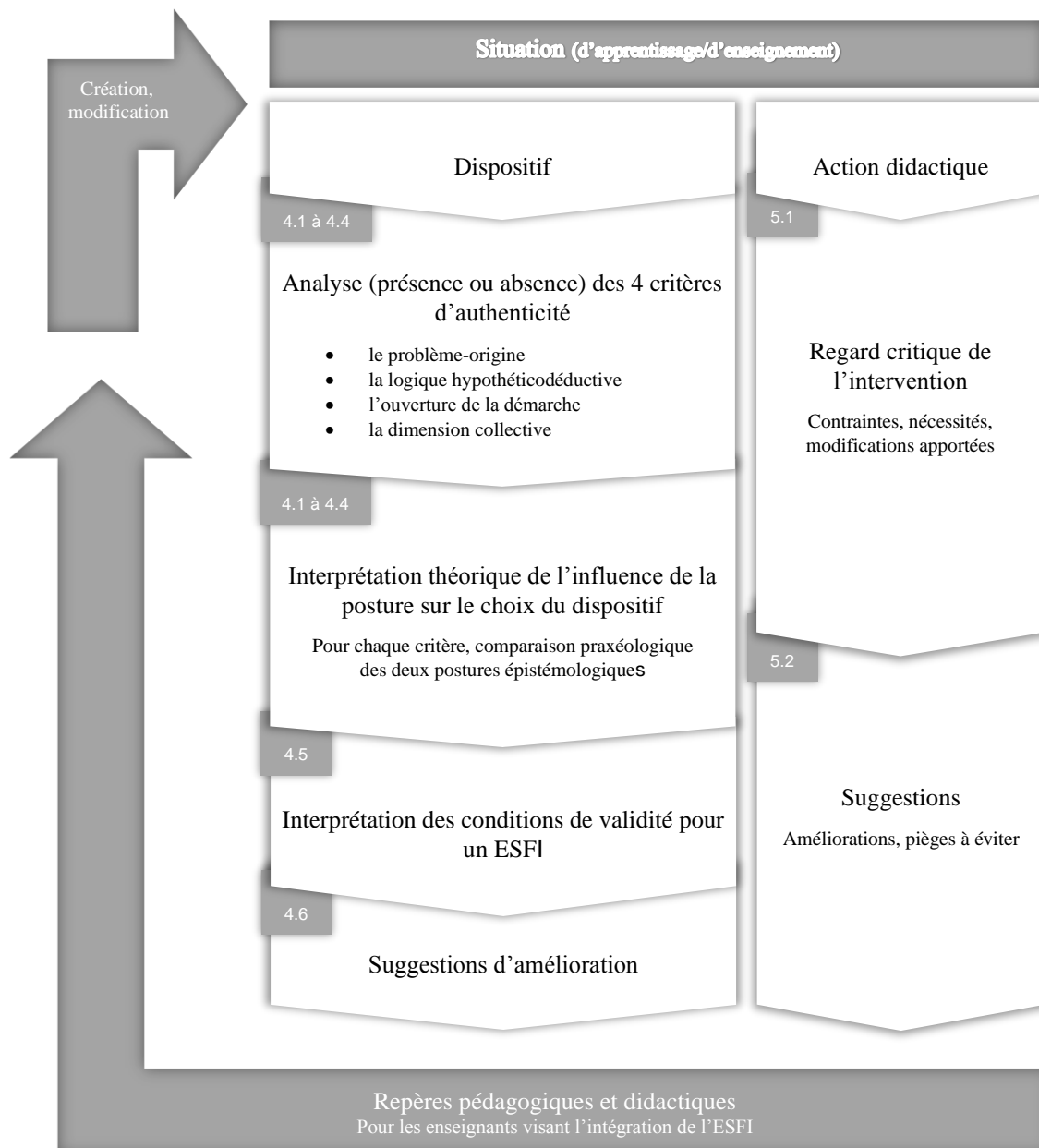


Figure 2. Logique d'analyse

CHAPITRE IV

LES RÉSULTATS, L'INTERPRÉTATION ET LA DISCUSSION

Ce chapitre présente d'abord les résultats d'analyse de la construction de la SAÉ et leur interprétation théorique selon les quatre critères d'authenticité retenus⁶⁷. La première section présente le problème en tant qu'instrument de création de savoirs scientifiques. La deuxième examine de ce qui fait la scientificité d'une démarche expérimentale, la logique hypothéticodéductive. La troisième traite du niveau d'ouverture de cette démarche, et la quatrième aborde la dimension collective du travail scientifique. Par la suite, une discussion émanant de cette portion interprétative est faite. Ainsi, la cinquième section explique les conditions de validité de ce type de dispositif pédagogique dans un ESFI. Finalement, la dernière section suggère des pistes d'amélioration du dispositif.

4.1 Le problème en tant qu'instrument de création de savoirs scientifiques

D'abord, nous pouvons constater que, à l'instar des chercheurs scientifiques, c'est bel et bien un *problème* qui est à la base de la tâche de la SAÉ. Il constitue le moteur de

⁶⁷ Il est à noter que, pour cette première partie, un postulat de correspondance entre la posture épistémologique de l'enseignant et son approche pédagogique/didactique effective est sous-entendu.

l'expérimentation et compose l'axe de recherche principal. Cependant, les réponses aux questions du premier thème concernant le statut du problème dans cette activité laissent entrevoir qu'une réflexion sur l'intérêt possible de la situation proposée n'est demandée aux élèves, ni dans la section *Le problème à résoudre*, ni dans *La mise en contexte*. Le problème est plutôt exposé dès la première page du guide *dossier de l'élève* avec une mise en situation qui indique que l'efficacité énergétique et le respect de l'environnement sont importants et qu'il faudra, à terme, émettre des recommandations pour le choix d'un isolant thermique résidentiel. La lecture critique de textes scientifiques n'est pas non plus demandée; il y a présence de certains textes informatifs concernant différents produits, mais l'élève est amené à en extraire simplement les avantages et inconvénients à la section *Analyse et conclusion* pour l'aider à faire son choix et à le justifier. Vient ensuite à la sous-section *Je m'interroge* une série de 12 questions assez fermées⁶⁸. Il y a également présence de questions plus complexes, mais toujours aussi fermées⁶⁹. Les élèves peuvent découvrir les réponses à ces questions dans leur manuel de référence; elles sont de couleur bleue et en caractère gras dans une phrase isolée du texte du manuel. Cette recherche informationnelle peut se faire entièrement en classe, et toutes les données du problème sont disponibles dans les trois premières pages du *dossier de l'élève*. Il n'y a ni analyse préliminaire, ni présentation physique des matériaux disponibles de prévues, ni discussion explicitement encouragée autour des enjeux. Bien que les réponses aux questions puissent inévitablement aider l'élève à comprendre les notions auxquelles elles se rapportent, nous

⁶⁸ Par exemple : « Qu'est-ce que la chaleur? », ou encore : « Qu'est-ce que le rendement énergétique? ».

⁶⁹ Par exemple : « Quelle formule mathématique permet de déterminer la quantité de chaleur transférée d'un milieu à un autre? Précisez ce que représente chacune des variables ».

ne considérons pas cette tâche comme une réalisation active d'analyses qualitatives qui l'aideraient à préciser par lui-même la situation et à formuler un questionnement. Il est par la suite en fait amené à la sous-section *Je dois* pour reformuler le but du problème à résoudre, lequel est précisé dans la mise en situation.

Ensuite, l'analyse de la SAÉ porte à croire que, contrairement à la pratique sociale de référence, l'expérience occupe une place centrale, quoiqu'envisagée comme un moyen de recherche de preuves. Il est aisé de remarquer que l'activité gravite essentiellement autour de l'expérience à effectuer, puisqu'en plus d'être obligatoires⁷⁰, les étapes complexes comprenant, à notre avis, les charges cognitives et émotionnelles les plus importantes sont celles incluent dans *La planification* et *La mise en œuvre* des manipulations. Ainsi, une épreuve par la recherche livresque ou Internet, par exemple, n'est pas envisagée. Il est également certain que les résultats d'efficacité énergétique ont l'impact le plus important sur le choix des recommandations que l'élève a à rédiger. Par ailleurs, tout comme le vivent les chercheurs, le but général de cette démarche d'expérimentation⁷¹ est plus complexe que les manipulations isolées et comporte deux autres thèmes, soit le désir de nuire le moins possible à l'environnement ainsi qu'à la qualité de l'air de la maison. La place clairement centrale de l'expérience laisse toutefois suspecter que ces questions ont été insérées afin que l'activité ressemble à une démarche de recherche comprenant plusieurs aspects complémentaires.

⁷⁰ Dès la première page, il est précisé clairement que « Vous devrez tester deux isolants thermiques [et] vous devrez calculer les quantités de chaleur perdue lors des tests ».

⁷¹ Ne pas confondre avec le but de l'expérience seule.

Telle est notre lecture de l'authenticité du moteur à la base de la SAÉ et de la place de l'expérience. En ce qui a trait à ces caractéristiques, voyons maintenant de quelle façon la posture épistémologique de l'enseignant peut influencer le choix d'un dispositif.

4.1.1 L'origine de l'expérimentation : de l'observation optimale au problème travaillé et approprié

Rappelons que, d'un point de vue empiriste, les fondements des savoirs scientifiques sont l'observation optimale et l'expérience. Puisque l'enseignant adoptant une posture épistémologique empiricoréaliste accorde préférentiellement de l'importance aux manipulations et non à l'origine de l'expérimentation, celui-ci apprend à l'élève, par des exercices d'observations naturelles et dirigées, l'art d'obtenir des faits exacts, l'art d'observer et de noter avec précision⁷². C'est la curiosité spontanée qui constitue le moteur de l'observation. Lorsque les faits sont bien connus, bien assis, leur comparaison s'impose naturellement à l'esprit. Des observations complètes peuvent servir à émettre des hypothèses par une induction souhaitée. Le rôle de l'expérimentation est de servir de contrôle à une idée fournie par l'observation^{73,74}.

⁷² Lorsque l'observation n'est pas même considérée comme allant de soi, comme naturelle et donnée à tout le monde, niant ainsi la nécessité d'un cadre interprétatif de référence et les représentations de chacun.

⁷³ En citant un rapport sur l'enseignement des sciences physiques et naturelles de 1909, Cariou (2010) fait remarquer qu'il a déjà été admis que l'enseignant de sciences doit « obliger l'esprit [de l'élève] à observer d'abord les faits qui l'entourent, et à développer peu à peu ses capacités d'analyse en imprimant en lui la véritable méthode expérimentale, la méthode inductive » (p. 224).

⁷⁴ Les *fiches de laboratoires scientifiques* de type *recette de cuisine* sont totalement conformes à cette vision empiriste où l'expérience occupe une place centrale. D'ailleurs, dans une écrasante majorité des fiches

Au contraire, l'enseignant adoptant une posture épistémologique socioconstructiviste reflétée dans son choix de dispositif considère plutôt que l'émission de l'hypothèse est d'abord issue d'un problème, plutôt que de l'observation pure. L'origine (le problème) est d'une importance capitale et fait passer les manipulations au second rang. Comme un savoir scientifique n'est pas la simple description d'une réalité, mais qu'il permet d'expliquer, de prévoir et donc de maîtriser des problèmes (Fabre et Orange, 1997), et que « des interactions fortes existent entre problèmes et connaissances au point que l'un ne peut exister sans l'autre dans l'activité scientifique » (Brunet, 1998, p. 150), il est légitime qu'un enseignant constructiviste désirant que ses élèves *fassent des sciences* base des situations d'apprentissage sur la résolution de problèmes. Pour ce faire, « il s'appuie sur le primat du théorique sur l'expérimental, abandonnant de ce fait la vision empiriste encore très répandue chez les enseignants » (Boilevin, 2013, p. 21). Dumas-Carré et Goffard (1997) mentionnent même que le résultat importe peu d'un point de vue pratique, c'est la façon dont il a été obtenu qui importe. Le problème permet d'*enrôler* l'élève dans l'apprentissage, de donner du sens aux connaissances, son désir de résolution constituant le moteur et la motivation de l'élève (Fabre, 2006).

Toutefois, De Vecchi et Carmona-Magnaldi (1996) soulèvent que les problèmes rencontrés en milieu scolaire ne sont souvent que des exercices, car ils se résument à un

analysées préliminairement, le but de l'expérience à effectuer est explicitement indiqué dès la première phrase, sans même d'entrée en matière (appendice A).

questionnement du maître ou du manuel devant être résolu par l'élève. Fabre et Orange (1997) ajoutent que :

L'élève devra [...] résoudre [le problème], la solution produite coïncidant avec la connaissance à apprendre. Ici, la réponse est bien produite par l'élève, mais celui-ci n'a aucune marge de manœuvre dans la construction du problème qui reste finalement la prérogative du maître ou du manuel (p. 42)

De nombreux auteurs considèrent ainsi que le problème devrait être inclus dans une situation plus complexe avec des données nombreuses et abordant plusieurs objectifs simultanément. Or, pour mener à bien cela, une difficulté majeure a été identifiée et elle réside dans ce que Brousseau (1986) appelle la *dévolution* du problème : c'est l'acte par lequel l'enseignant fait accepter à l'élève la responsabilité d'une situation d'apprentissage ou d'un problème à résoudre. « Le rôle du maître est alors d'amener les élèves à assumer intellectuellement un problème qui, au départ, leur est extérieur, afin qu'ils prennent en charge les moyens conceptuels de sa résolution » (Duplessis, 2007, p. 17). Trouver de la pertinence et de l'intérêt à résoudre un problème peut prendre des mois chez le chercheur, et cela doit être ramené souvent à quelques minutes dans le cadre d'un enseignement. Cette dévolution est très difficile et la volonté de l'enseignant de faire la dévolution d'une responsabilité scientifique à ses élèves ne suffit pas à assurer qu'ils soient dans une démarche de recherche de preuve scientifique (Gandit, Triquet et Guillaud, 2013). Plus qu'une tentative de vente, la situation proposée doit être suffisamment construite. En ce sens, pour Bachelard (1967), la maîtrise d'un problème scientifique ne se limite pas à sa

résolution, mais également à sa construction, à sa formulation. Selon le dictionnaire français Larousse⁷⁵, un problème en général, c'est :

- un point sur lequel on s'interroge, une **question** qui prête à discussion, qui fait l'objet d'argumentations, de théories diverses, en particulier dans le domaine de la connaissance
- une **question** à résoudre par un raisonnement scientifique et constituant un exercice
- une **question** à résoudre dans un domaine quelconque, qui se présente avec un certain nombre de difficultés, d'obstacles

On remarque que le questionnement est très présent dans ces définitions. L'enseignant socioconstructiviste doit faire en sorte que les élèves se posent les questions eux-mêmes – et ce n'est pas simple –. S'appuyant, entre autres, sur les concepts d'obstacles épistémologiques de Bachelard, d'objectif-obstacles de Martinand, d'apprentissage par changement conceptuel issu en partie des travaux de Piaget et Vygotski, Fabre et Orange (1997) vont plus loin en ce sens; l'élève ne peut donner sens aux connaissances scientifiques qu'en les appréhendant comme solutions possibles de problématiques élaborées en classe. Plus que simplement le faire parcourir – ou le vendre –, l'enseignant devrait dédier une grande partie de l'activité en classe à la construction même du problème par les élèves. C'est ce que ces chercheurs en pédagogie et en didactique appellent la *problématisation*⁷⁶. L'élève doit être impliqué dans l'apprentissage, et pour cela, l'enseignant doit préparer ou sélectionner des situations qui lui permettent de s'engager dans une activité de théorisation :

⁷⁵ Problème. (n.d.). Dans *Dictionnaire français Larousse*. Récupéré de <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/problème/64046?q=problème#63329>

⁷⁶ Parfois aussi nommé *travail* ou *construction du problème*.

Le problème ne se présente pas tout fait; il est simplement posé sous forme d'une question générale ou d'une situation. Les élèves doivent le construire progressivement à partir d'un cahier des charges et par un système de contamination de contraintes, de telle sorte que sa détermination complète coïncide effectivement avec ses solutions possibles. Pour l'enseignant, l'objectif est que les élèves construisent une problématique pertinente par rapport à la question traitée, problématique seule susceptible de donner sens aux solutions trouvées et donc aux connaissances scientifiques construites. (Fabre et Orange, 1997, p. 42)

La problématisation en cours de S&T peut se décliner en plusieurs pratiques collectives. Il peut s'agir, par exemple, du développement d'un questionnement en termes de concepts scientifiques par une modélisation du problème, de la formulation et de la représentation des problèmes par les élèves, ou aller encore plus loin en s'engageant dans un processus rationnel d'exploration du possible, de l'impossible et du nécessaire (Orange, 2005).

Bien que l'observation ait été associée à la posture épistémologique empiricoréaliste, il est important de noter qu'une posture socioconstructiviste n'empêche pas l'enseignant de prévoir des activités d'observation, même que plusieurs séances dédiées exclusivement à cela peuvent parfois être nécessaires pour une problématisation adéquate (Orange, 2005). Cependant, les observations ne sont pas premières, elles aboutissent au soulèvement de questions et ensuite à l'émission d'hypothèses.

En somme, contrairement aux *fiches de laboratoires scientifiques* bien formatées, la SAÉ analysée est bel et bien basée sur un problème à résoudre. Toutefois, elle ne suggère aucune flexibilité quant à la définition de ce problème et ne demande pas non plus de faire des recherches variées (livresques, numériques, empiriques, etc.) pour y arriver. C'est l'expérience qui occupe une place centrale, et les élèves ne sont pas formellement

amenés à réfléchir à l'intérêt de la situation dans leur vie. Pour que le scientifique se sente concerné, une recherche doit avoir du sens à ses yeux, pour qu'il ait envie de trouver et s'implique dans la résolution. Or, nous croyons que le travail du problème de la SAÉ par les élèves est insuffisant pour prétendre à l'authenticité et qu'il n'est pas en mesure de créer ou d'éveiller le sentiment d'engagement nécessaire au chercheur. Concernant seulement ces aspects, sans être adaptée ou modifiée, la SAÉ ne peut donc être en mesure de soutenir une posture épistémologique socioconstructiviste de l'enseignant.

4.2 La logique hypothéticodéductive

D'abord, il est facile de constater que le déroulement du scénario de la SAÉ prévoit la formulation d'une hypothèse. La sous-section *Je pense* exprime clairement cette exigence⁷⁷. Selon De Vecchi et Carmona-Magnaldi (2002), « une démarche de recherche est le reflet des savoirs initiaux, mais aussi des conceptions plus ou moins erronées et de l'état d'esprit du sujet » (p. 34). Le fait de demander à l'élève une justification de son hypothèse peut être conçu comme une explicitation des préconceptions, ce qui l'amène formellement à démontrer de la cohérence et à réfléchir aux fondements de sa pensée. D'ailleurs, on peut noter que l'hypothèse n'est pas seulement exigée, elle est aussi liée au problème; contrairement à un processus inductif pur ou empirique, elle est le fruit d'une certaine construction lorsqu'il est demandé à l'élève d'identifier les variables indépendantes et dépendantes à la sous-section *Je dois* et

⁷⁷ Par : « Formulez une hypothèse et justifiez-la ».

de réfléchir préalablement à la façon de déterminer quel isolant thermique sera le plus efficace à la sous-section *Je pense*. On peut aussi noter que la scientificité de l'approche est reflétée par le caractère réfutable de cette hypothèse, parce qu'elle est effectivement destinée à être testée expérimentalement et qu'elle a un poids par la suite.

Ensuite, l'hypothèse est mise à l'épreuve par une méthode relevant de la logique déductive, allant du général au spécifique⁷⁸. L'entonnoir conceptuel peut y être perçu. La prémisse (l'hypothèse) est donc testée selon un raisonnement déductif espéré rigoureux.

La démarche expérimentale hypothéticodéductive de la SAÉ pouvant prétendre à une scientificité, voyons maintenant de quelle manière la posture épistémologique de l'enseignant de S&T peut influencer le choix d'un dispositif en ce qui a trait aux deux critères abordés. Pour ce faire, l'étude des rôles attribués à l'expérience en classe et des logiques des démarches sous-jacentes paraît nécessaire.

4.2.1 Le rôle attribué à l'expérience

L'expérience en classe de S&T peut être préconisée dans la poursuite de différents buts et son rôle est nécessairement lié à la logique de la démarche utilisée. Eu égard à la

⁷⁸ Après l'interrogation : « quel isolant sera le plus efficace? » (sous-section *Je pense*), on demande à l'élève de rédiger un protocole afin de « calculer les quantités de chaleur perdue » (section *Le problème à résoudre*), pour en arriver à l'obtention de résultats par le calcul de « la quantité d'énergie thermique perdue par l'eau » (sous-section *J'expérimente*).

posture épistémologique de l'enseignant, elle peut servir de renfort au discours théorique en apportant des preuves, elle peut confronter l'élève au réel par la vérification empirique, mais elle sait aussi être simplement le test de l'hypothèse. Les enjeux assignés aux activités expérimentales scolaires ayant évolué au cours des deux siècles derniers, il est pertinent de rappeler quelques repères historiques ayant été déterminants dans l'évolution de cette composante de l'enseignement des sciences.

4.2.1.1 Une preuve théorique

L'objectif d'une démarche déductive est la présentation et la mise à l'épreuve d'un modèle. L'enseignant demande à ses élèves d'en déduire un certain nombre de faits expérimentaux auxquels il attribue une valeur de preuve⁷⁹. Le plus souvent démonstratives, les expériences ont pour fonction l'illustration, le renforcement du discours théorique livré en amont sous la forme d'exposé⁸⁰ (Gohau, 1987). Le maître sait que ce qu'il dit est vérifié depuis longtemps par des expériences beaucoup plus soignées que celles qu'il peut réaliser en classe. Pour rendre crédible une affirmation, il s'agit de

⁷⁹ Par une analyse historique des pratiques expérimentales qui repose sur les manuels scolaires français de biologie édités entre 1850 et 1996, Galiana (1999) relève que les expériences évoquées ont essentiellement ce rôle de preuve de la théorie par les enseignants durant la période allant de 1850 à 1950 : « Selon un plan stéréotypé, le cours se présente sous forme d'un discours théorique dont on déduit un certain nombre de faits expérimentaux qui ont valeur de preuve [...] Les connaissances sont ancrées sur le concret, l'*experientia*. Les observations vulgaires constituent bien un élément argumentatif » (p. 20).

⁸⁰ Par l'étude de deux éditions (1867 et 1911) du *Dictionnaire de pédagogie et d'instruction primaire*, Cariou (2010) fait remarquer, en citant en exemple une classe dite *idéale*, que « le principe d'Archimède [est] établi à l'aide d'expériences bien coordonnées. Du principe démontré, vous déduisez par un raisonnement simple [une] conséquence immédiate [...] C'est important à vérifier. Or, rien n'est plus facile que de réaliser une expérience qui prouve directement la vérité de ce nouvel énoncé » (p. 222).

citer plusieurs expériences qui confortent les affirmations produites. Cette stratégie articule plusieurs fiches d'expérimentation traditionnelles et on la retrouve aussi lorsque l'enseignant décide de faire la démonstration lui-même d'une expérience devant le groupe. Une telle utilisation de l'expérience aurait pour avantage d'explorer plus largement le domaine de validité des lois et des modèles, et permettrait de montrer aux élèves de quelle façon un scientifique peut utiliser ces derniers. Cependant, en lien avec la logique déductive mise en œuvre lors de l'interprétation des résultats expérimentaux, il apparaît souvent ce que Galiana (1999) appelle *l'analyse abusive*, où des conclusions illégitimes, non démontrées expérimentalement, sont proposées. Comme étayé précédemment, si le but est de faire apprendre aux élèves le raisonnement déductif grâce à la pratique expérimentale, privilégier ce type d'approche ne sert qu'à donner une fausse image de la pratique scientifique.

4.2.1.2 Une vérification empirique

Les expériences en classe de S&T peuvent être également envisagées comme ayant une fonction de vérification empirique. Ainsi, l'enseignant construit un cours autour de l'expérience et le dirige, le plus souvent, par des méthodes interrogatives (Gohau, 1987). L'expérience est centrée sur la découverte de lois qu'on suppose induites naturellement à partir des faits, des phénomènes observés et des mesures effectuées. L'enseignant

demande en quelque sorte aux élèves de redécouvrir la théorie⁸¹. Cette démarche inductive est fort prisée des enseignants de S&T et abonde dans les manuels scolaires et les fiches d'expérimentation.

Une foule de critiques didactiques des séances expérimentales *fermées*, telles que vécues, a été déployée précédemment et elle est, en grande partie, reliée à une telle utilisation de l'expérience. D'abord, vouloir que les élèves, en la réalisant, découvrent en quelques instants une solution qu'un groupe de chercheurs a mis des années à mûrir, c'est une imposture et c'est évidemment faire de l'expérience un simple prétexte à l'exposition des principes généraux par le maître. Comme la partie expérimentale de cette approche n'est pertinente que si on en retire le théorème, la notion, la règle qui constituent les *véritables* savoirs, l'expérience en classe n'a essentiellement aucune valeur de test, car elle est non réfutable. C'est ainsi intrinsèquement que les hypothèses émises par les élèves – lorsqu'elles le sont – ont peu de fonctions réelles. Il est également exclu que l'expérience ne réussisse pas. Lorsque cela arrive, l'enseignant ne conteste évidemment pas la théorie qu'il croit exacte, mais l'expérience qui a *raté*. Selon cette logique imprégnée de l'empirisme, l'expérience ne saurait remettre en question la théorie. Puisque relevant d'une vision positiviste des sciences, cette logique estime que les théories scientifiques ne font que présenter les résultats des expériences. On reconnaît ainsi difficilement le rôle de

⁸¹ Croyant qu'il suffisait de retourner la méthode traditionnelle déductive pour fonder une pédagogie active de la découverte, une telle approche mur à mur a été fortement mise de l'avant à partir de la deuxième moitié du XX^e siècle, par l'introduction de méthodes inductives dites de *redécouverte* qui s'inspirent – supposément – de l'histoire des découvertes scientifiques.

création de modèles ou de théories. Cette méthode est au moins aussi dogmatique que la précédente⁸². Dans ce contexte d'évidences, il est impossible pour l'élève – et même pour l'enseignant – de prendre du recul et soupçonner ce qui est construit, ce qui est scientifique. De plus, étant donné que la théorie à redécouvrir a servi de cadre conceptuel pour l'élaboration même de l'expérience, Galiana (1999) fait remarquer qu'il s'agit, sur le plan de la logique, d'une aberration. Il en est de même pour l'hypothèse qui précède une expérience déjà élaborée. Ensuite, si cette démarche inductive est systématiquement utilisée, elle risque de donner une représentation réductrice de l'activité scientifique sur le plan de la validation des connaissances, car l'élève ne cerne pas le champ d'investigation qu'on lui réserve. C'est pourquoi un enseignant désirant offrir des dispositifs relevant d'une posture épistémologique socioconstructiviste tente d'éviter cette stratégie non représentative du travail réel du chercheur.

Des critiques pédagogiques face à l'utilisation de telles démarches, concernant cette fois-ci les processus d'apprentissage, sont aussi émises de nos jours. D'abord, le processus selon lequel l'observation pourrait mener à l'hypothèse par un raisonnement inductif est mis en doute. En effet, il a été démontré que les élèves – et l'humain en général – ne réfléchissent pas par induction, mais bien par la conduite d'un raisonnement déductif qui ne nécessite pas de règles formelles menant à l'inférence. Le raisonnement résulte plutôt de l'utilisation de modèles mentaux permettant une première conclusion qui est confrontée à des modèles alternatifs jusqu'à épuisement (Johnson-Laird, 1994). C'est

⁸² Nadeau et Désautels (1984) qualifient cette stratégie de « vérificationnisme crédule » (p. 32).

cette capacité à rechercher des modèles alternatifs qui se développe avec l'âge (Coslin, 2013) et que l'enseignant peut faire développer et non la connaissance de règles d'inférence. Ensuite, le modèle d'apprentissage privilégié est essentiellement celui de la transmission-réception où les caractéristiques psychocognitives des élèves ne sont pas prises en compte. Des méthodes expositives sont employées par le maître, et la sollicitation de l'élève est accessoire. Si ce dernier est en action, cela n'a pas d'autre fonction que de le faire bouger, car tout est déjà bien prévu. Cela ne le place donc vraiment pas au cœur de ses apprentissages.

Qui plus est, certains auteurs (Cariou, 2010; Galiana, 1999) ont remarqué que les mêmes expériences étaient très fréquemment effectuées en classe. Celles qui semblent incontournables peuvent être qualifiées de *prototypiques*. Galiana (1999) fait remarquer qu'il est tout de même étonnant que :

Malgré de nombreux bouleversements de programmes, malgré des évolutions et des révolutions pédagogiques ou conceptuelles liées à de nouvelles découvertes [...] ce sont les mêmes expériences qui sont citées tout au long de notre période d'étude (soit presque un siècle et demi) (p. 12)

Ayant exclu précédemment la prise en compte des processus d'apprentissage, le facteur décisif expliquant de tels choix est donc, possiblement, la simplicité à réaliser de telles expériences en classe; elles ne nécessitent que peu de matériel et sont limpides quant à leur interprétation supposée qui est dans le domaine de l'évidence. La conclusion est indiscutable⁸³.

⁸³ Cela pourrait possiblement expliquer la popularité de ces utilisations de l'expérience scolaire, tel que reflété dans les fiches expérimentales *recette de cuisine* analysées préliminairement.

4.2.1.3 Le test de l'hypothèse

Selon une posture constructiviste relevant d'une épistémologie contemporaine des sciences, l'expérimentation en cours de S&T a un rôle de test de l'hypothèse. La vérité et le savoir universel ne pouvant être affirmés ou prouvés, nul besoin de raisonner en termes de preuve théorique et de vérification empirique. Comme étayé auparavant, l'hypothèse constitue le concept *pivot* d'une démarche scientifique générale⁸⁴. Les données initiales conduisent à des solutions provisoires réfutables qui sont ensuite validées ou rejetées par l'épreuve (l'expérience dans le cas d'une démarche expérimentale). L'enseignant ayant fait le choix de faire ressortir le primat de l'hypothèse sur l'expérience dirige son cours surtout par des méthodes interrogatives. Le rôle des résultats expérimentaux est minimisé à l'avantage de celui de l'hypothèse. Bien que la variabilité des hypothèses concerne les modalités de mise à l'épreuve – ce qui peut intimider plusieurs enseignants –, cela concerne aussi les modalités d'émergence. Il s'agit pour les élèves d'en arriver à construire et à poser des postulats susceptibles d'orienter le traitement des situations à partir d'un problème et faisant appel, dans une mesure réaliste, à la pensée divergente, pour ensuite les tester rigoureusement par déduction, utilisant la pensée convergente. L'enseignant constructiviste incite les élèves à les formuler et les aide à transformer leurs affirmations et le produit de leurs conceptions en hypothèses. Si des contraintes s'imposent, ou si les élèves sont bloqués ou pas habitués, l'enseignant peut proposer – à tout le moins –,

⁸⁴ Sous-entendu : hypothéticodéductive

quelques hypothèses à discuter en groupe, et il peut faire expliciter, d'une façon fonctionnelle, les préconceptions. C'est ainsi qu'une démarche hypothéticodéductive peut prendre place en cours de S&T.

En somme, par les caractères réfutable et construit de l'hypothèse, ainsi que par le test par l'expérience de cette hypothèse prévue par une logique déductive, nous croyons que la démarche expérimentale de la SAÉ analysée est articulée par une démarche hypothéticodéductive, un critère nécessaire à la reconnaissance d'une authenticité scientifique. Un enseignant ayant une conception socioconstructiviste des sciences et des chercheurs pourrait clairement faire le choix d'un dispositif ayant une telle logique de démarche.

4.3 L'ouverture aux possibles de la démarche

Premièrement, nous sommes mitigés quant à la possibilité de l'hypothèse émise par l'élève d'orienter réellement le traitement de la situation. Parce que c'est l'hypothèse qui dirige les calculs des chercheurs et donc aussi les conclusions à confronter éventuellement avec les données expérimentales (Johsua et Dupin, 1993), nous qualifions la question⁸⁵ menant à la rédaction de cette l'hypothèse de *hautement* cadrée. Elle est en lien direct avec le but de l'expérience qui est restreint également, soit de tester l'efficacité énergétique de trois différents isolants thermiques en calculant les pertes de chaleur,

⁸⁵ « Selon vous, quel isolant sera le plus efficace? »

comme indiqué à la section *Problème à résoudre*. On se limite ici à une seule assertion de portée précise, mais une véritable recherche peut en contenir plusieurs.

Deuxièmement, tout comme le font les scientifiques, on demande à l'élève d'élaborer une stratégie pour tester l'hypothèse qu'il a émise. De fait, on lui demande même d'y réfléchir avant que cette hypothèse soit rédigée, à la sous-section *Je pense*⁸⁶. La section *La planification* lui permet ensuite de dresser la liste du matériel dont il aura besoin pour effectuer son expérience et de rédiger son protocole expérimental en lui rappelant de ne pas oublier de prévoir un témoin. L'élève est subséquemment invité à préparer un tableau dans lequel il notera ses résultats. La SAÉ paraît ainsi laisser beaucoup de latitude à l'élève dans sa planification de l'expérience. Elle semble donc prévoir que tous n'auront pas le même scénario à effectuer. Toutefois, un indice, qui peut sembler banal au premier abord, laisse douter de cette liberté. Une expérience déjà formatée prévoyant un contenant rempli d'eau dans lequel l'élève mesure la baisse de température avec un thermomètre, contenant probablement emballé dans chacun des trois isolants à tester, peut fortement être soupçonnée⁸⁷. Dans ce cas de figure, l'élève n'aurait évidemment pas la chance de prendre en main le test de son l'hypothèse à l'aide de sa créativité, et cela viendrait totalement saboter les visées de cette démarche expérimentale. Par ailleurs, il est prévu qu'un seul protocole soit élaboré⁸⁸. Juste avant la mise en œuvre,

⁸⁶ « Selon vous, comment pourrez-vous déterminer quel isolant thermique sera le plus efficace? ».

⁸⁷ Après avoir complété son expérience, à la sous-section *J'expérimente*, on lui demande : « Calculez la quantité d'énergie thermique perdue par l'eau pour chaque essai effectué ».

⁸⁸ Tel que reflété par la question : « Établissez le protocole expérimental ».

à la sous-section *Rétroaction*, l'élève doit cependant confirmer en cochant s'il a envisagé différentes possibilités de protocoles ou non. Bien que cette vérification soit effectuée, elle ne semble avoir aucune portée pratique ultérieure autre qu'un exercice métacognitif. En somme, nous ne pouvons affirmer hors de tout doute que la séquence prévue pour cette activité ne laisse pas l'élève libre dans l'élaboration de son protocole.

Troisièmement, l'élève n'est pas exercé à effectuer des tâtonnements et des va-et-vient entre différentes phases expérimentales, tel que le font les chercheurs. Par exemple, il n'est pas prévu qu'un résultat surprenant lui fasse émettre une hypothèse alternative à tester, ou encore que son interprétation remette en cause la formulation même du problème et permette de soulever de nouveaux questionnements. L'articulation de la SAÉ suggère donc une séquence linéaire et causale allant de la situation problématique à la conclusion, en passant par l'hypothèse, l'expérience et l'interprétation des résultats. L'activité n'est ramifiée à aucune étape, ne proposant pas de multiplier les essais ou de tester plusieurs hypothèses. Néanmoins, à la sous-section *J'expérimente*, on suggère que l'élève a la possibilité d'ajuster son protocole, ou du moins, de réfléchir s'il y a dérogé⁸⁹. Cependant, cette question n'est pas posée à la fin de l'activité, mais bien durant la phase d'expérience, avant même l'analyse des résultats. Cela confine grandement sa portée et confirme qu'aucune interaction entre les différentes phases expérimentales n'est prévue.

⁸⁹ On pose la question : « Pendant l'expérience, avez-vous modifié votre plan d'action? Si oui, pourquoi? ».

La SAÉ demande ainsi que l'élève rédige une hypothèse et élabore son propre protocole dans un cadre séquentiel bien cadré. La question est maintenant de savoir dans quelle mesure ce cheminement peut supporter une posture épistémologique socioconstructiviste de l'enseignant. Une analyse didactique des deux principales stratégies utilisées est nécessaire⁹⁰.

4.3.1 Une méthode linéaire et causale

Une vision réaliste des sciences comprenant une séparation entre l'apprenant et l'objet à apprendre et selon laquelle la crédibilité des sciences expérimentales passe par leur capacité à produire des résultats conformes aux théories a pour effet naturellement de porter l'enseignant à choisir ou élaborer des dispositifs comprenant des activités expérimentales assez bien cadrées où l'important est de mettre les élèves en action pour probablement pouvoir noter la partie *pratique* du bulletin. L'enseignant peut tout de même avoir l'impression de ne pas être dogmatique lorsqu'il sélectionne un fait ou une situation productrice de faits à présenter aux élèves, d'où ils extraient la notion. L'expérimentation est menée selon une démarche unique ou presque, car l'activité est centrée essentiellement sur l'articulation entre problème, observation, hypothèse et expérience. Pendant la phase d'interprétation, il s'agit pour l'élève de rechercher l'accord entre l'hypothèse et les

⁹⁰ Afin de les distinguer, un vocabulaire différent sera utilisé. Cette précision a été apportée par Develay (1989) : « Ainsi pourrait-on parler de **méthode expérimentale** au plan pédagogique lorsque l'itinéraire que les élèves auront à emprunter est largement prédéterminé. Une **démarche expérimentale** à l'inverse rendrait compte d'une conduite de la pensée plus vagabonde, et donc moins contrainte par des indications d'actions de la part de l'enseignant » (p. 4)

résultats de l'expérience. L'activité a pour but essentiel de faire en sorte qu'à travers les observations ou les expériences qu'on lui demande de réaliser, l'élève puisse se rendre compte par lui-même de ce qu'il met en évidence.

Plusieurs méthodes standardisées présentant des étapes bien définies sont observées dans les classes, dont la plus connue est sans doute celle représentée par l'acronyme *OHERIC*⁹¹ (figure 3). C'est une méthode linéaire et causale de base souvent proposée aux élèves comme le prototype de démarche typiquement scientifique (Fourez et Larochelle, 2004; Verhaeghe *et al.*, 2004). Inspirée de l'empirisme, les faits et l'observation (O) en sont le point de départ. Le *H* représente l'hypothèse; l'élève doit évaluer les possibles explications et en retenir une, celle qui semble, à ce point précis de la méthode, la plus viable. Par la suite, il expérimente la validité de cette explication, d'où la lettre *E*. Le but est alors de contrôler les variables qui ne sont pas nécessaires pour pouvoir étudier en détail les hypothèses formulées à l'étape précédente. L'expérimentation conduit à des résultats (R). Ces résultats sont alors analysés en fonction du contexte de l'expérimentation, ce qui revient à les interpréter (I). Pour terminer, les élèves tirent des conclusions (C) quant à l'efficacité de leur expérience, de même qu'à la confirmation ou l'infirmité de leurs hypothèses.

⁹¹ Ce sigle a été élaboré initialement par le didacticien et épistémologue André Giordan (1978) dans le but de dénoncer une distorsion qui s'opère lors de la transposition des démarches scientifiques dans la classe et une vision figée des pratiques pédagogiques. L'utilisation actuelle de la formule *OHERIC* est donc surprenante, car elle a été reprise par les enseignants et a souvent été perçue à tort comme un modèle à suivre pas à pas.

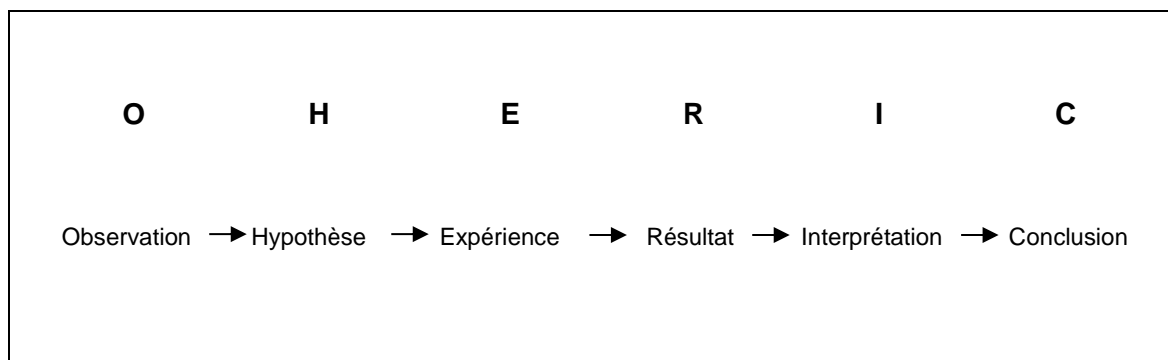


Figure 3. Méthode expérimentale OHERIC

L'insertion dans les séquences de classe de problèmes ou de situations-problèmes ⁹² ne garantit en rien la réorientation vers une épistémologie hypothéticodéductiviste⁹³. Une méthode très linéaire s'ensuit souvent, qui minimise le rôle de l'hypothèse au profit de l'expérience-démonstration⁹⁴ (Bomchil et Darley, 1998). Néanmoins, « si la méthode est linéaire, c'est que ce n'est sûrement pas celle des élèves, mais celle de l'enseignant qui est suivie » (Cariou, 2010, p. 278). Comme discuté antérieurement, les chercheurs ne procèdent évidemment pas selon ces schémas simples⁹⁵,

⁹² Dispositifs pédagogiques discutés ultérieurement.

⁹³ Prenant en compte l'imprégnation de cette méthode chez les enseignants et, en même temps, du discours officiel qui prône l'introduction des problèmes, Brunet (1998) signale que la méthode *OHERIC* est parfois déguisée sous la forme *OPHERIC*, sans changer le cadre empirique donnant la primauté à l'observation. Coquidé *et al.* (1999) ont également proposé *PHERIC* et Clément (1998), de son côté, a proposé *THEORIC* pour montrer le caractère premier de la théorie qui arme l'observation.

⁹⁴ Cariou (2010) soulève qu'autour des années 1990, des modifications du schéma classique *OHERIC* ont conduit les enseignants, entendant l'insistance sur les problèmes et les activités, à mettre plus volontiers en œuvre un style caractérisé par la mise à l'écart de l'hypothèse, la présence d'un problème et le rôle majeur des activités. L'enseignement est ainsi construit autour d'activités, autant que possible, effectuées par les élèves, individuellement ou à plusieurs. Il propose ainsi l'acronyme *OPAC* pour désigner ces méthodes, indiquant un passage direct et inflexible du problème uniquement énoncé pour introduire l'activité (A) préprogrammée.

⁹⁵ De Vecchi et Carmona-Magnaldi (2002) affirment qu'« imposées comme telle aux élèves [ces méthodes ne sont] qu'un *dressage* qui n'a que peu de rapports avec l'idée de science » (p. 34).

mais plutôt par tâtonnements et boucles. Seule la présentation finale des recherches peut prendre la forme d'une succession idéalisée et reconstruite.

4.3.2 Une démarche buissonnante avec tâtonnements

Un enseignant ayant plutôt une conception socioconstructiviste des sciences et des chercheurs et désirant intégrer un ESFI tente plutôt de faire vivre une démarche de recherche aux élèves. Plus que l'application d'une technique, il s'agit d'entrer dans un état d'esprit. C'est dans l'optique de s'appuyer sur une épistémologie contemporaine que différentes schématisations⁹⁶ des démarches scientifiques ont été construites, représentant l'activité de recherche elle-même, tout en s'inscrivant dans une perspective didactique. Ce qui est commun à ces différentes démarches, c'est la reconnaissance de l'importance de la problématisation (P) en début de mandat. Face à un problème à résoudre, l'observation est guidée par des considérations théoriques posées a priori et génératrices d'hypothèses que l'expérience devra valider ou invalider⁹⁷ (Fourez et Larochelle, 2004).

Ressemblant à une véritable recherche qui ne peut être que buissonnante, truffée de détours et même de retours en arrière, malgré la linéarité apparente des acronymes, ces modèles sont tous caractérisés par une diversité de voies à emprunter. Ils comprennent des

⁹⁶ Cela va de l'acronyme *PH(TR)I* (Develay, 1989) à *DPHTRIC* (Gil-Pérez, 1993; Giordan, 1999; Robardet et Guillaud, 1997), en passant par *DiPHTeRIC* (Cariou, 2010).

⁹⁷ Ainsi, concernant le modèle de Cariou, les données initiales (Di) regroupent aussi bien les théories que les observations, les représentations initiales, les acquis antérieurs, les modèles et les expériences.

allers-retours entre les différentes phases et ceux-ci ne sont pas des régressions, mais la clarification de certains éléments sur lesquels s'appuyer pour progresser. Les étapes se veulent plus interactives que chronologiques (figure 4). Les connaissances sont ainsi construites par l'élève lui-même selon un processus ni linéaire ni progressif. La créativité des élèves est encouragée par l'émission de véritables hypothèses et la conception de tests qui sont des moments estimés cruciaux. La démarche peut même aboutir à de nouvelles questions, ce qui est le reflet d'une véritable recherche.

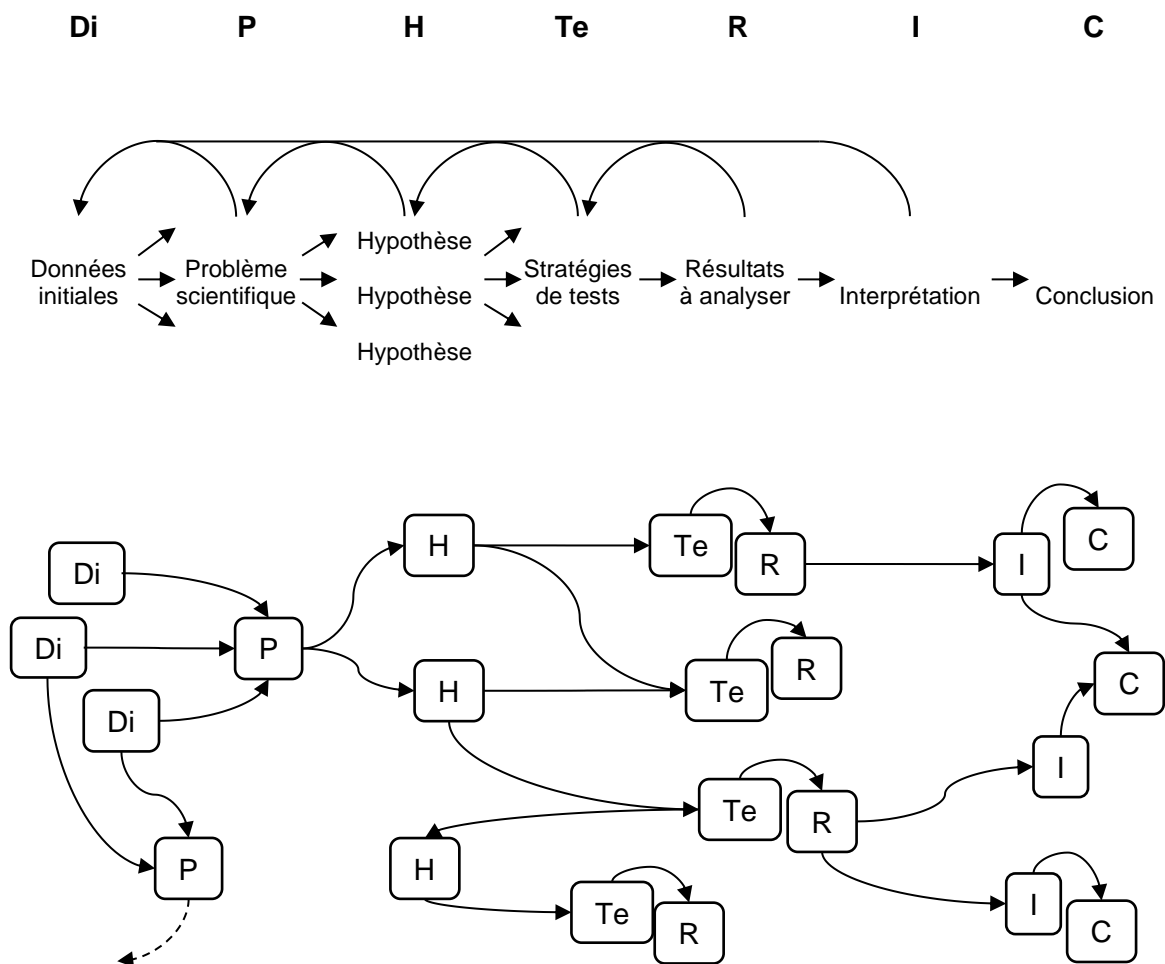


Figure 4. Démarche expérimentale DiPHTeRIC⁹⁸

En somme, selon ces propositions et les définitions suggérées par Develay (1989), nous pourrions qualifier la SAÉ analysée d'*hybride* entre une méthode et une démarche expérimentale. Le déroulement est prévu séquentiellement, chacune des phases succédant

⁹⁸ Adapté de Cariou (2010).

à la précédente. L'itinéraire à emprunter est passablement déterminé, sans essai ni retour en arrière. L'hypothèse à éprouver est unique, tout comme le protocole, sans buissonnement. Il est à noter qu'à la section *L'analyse et la conclusion*, l'élève est également fortement guidé dans sa réflexion par les questions à répondre. Puisqu'un problème est à la base de l'activité, l'acronyme la schématisant le mieux pourrait être *PHERIC*. Contrairement à la pratique sociale de référence en sciences expérimentales, cette méthode n'est pas foisonnante et non linéaire. Les connaissances de l'élève se construisent ainsi de façon progressive, contrairement aux savoirs savants. L'enseignant adoptant une posture épistémologique socioconstructiviste sait que la prépondérance peut être donnée au processus de la démarche lui-même plus qu'aux savoirs en jeu. L'utilisation d'une méthode linéaire et causale ne peut donc être en mesure de transposer authentiquement en classe la logique d'une démarche scientifique réelle. En revanche, appuyés par une conception piagétienne de la cognition, puisqu'il est prévu que l'élève élabore lui-même son protocole et décide du matériel à utiliser, nous ne pouvons affirmer que ce dispositif est basé uniquement sur un modèle pédagogique de transmission-réception.

4.4 La dimension collective du travail scientifique

Premièrement, ne reflétant assurément pas l'image d'une pratique sociale de référence en sciences expérimentales fondée sur la construction collective et le travail en commun des élèves, le déroulement de la SAÉ ne prévoit pas le travail en équipe. Cette

affirmation est d'abord basée sur des choix de mots. Tout au long de l'activité, les questions posées utilisent un pronom personnel⁹⁹ ainsi que des adjectifs possessifs¹⁰⁰ à la deuxième personne du pluriel. La règle du français stipule toutefois qu'ils peuvent être employés pour indiquer une marque de respect, ou encore pour désigner *tout le monde, n'importe qui*, par exemple dans les consignes ou les publicités. Cela ne certifie donc pas que la question s'adresse à plus d'une personne. Par ailleurs, aux trois sous-sections *Rétroaction*, les vérifications à effectuer sont rédigées par l'emploi de pronoms personnels¹⁰¹ à la première personne du singulier. Quoique cela puisse seulement suggérer qu'il est prévu qu'un *dossier de l'élève* soit rempli par personne, il est permis de suspecter l'individualité de la tâche. Ensuite, nulle part ne sont retrouvés des espaces pour noter les idées de pairs ou des indices de quelque répartition de rôles à jouer à l'intérieur d'une équipe que ce soit. Enfin, l'évaluation prévue est individuelle, encore une fois reflété par les mots¹⁰² utilisés.

Deuxièmement, l'interaction des équipes entre elles et avec la communauté scientifique ne peut être facilitée, puisque trivialement, ces équipes ne sont pas encouragées. Cependant, les élèves pourraient tout de même discuter de leurs idées individuelles, exprimer leurs préconceptions et confronter leurs points de vue entre eux et

⁹⁹ « Vous ».

¹⁰⁰ « Vos » et « votre ».

¹⁰¹ « Est-ce que je comprends... », « Ai-je envisagé... » ou encore « Ai-je noté et justifié chacune des modifications apportées à mon plan d'action? ».

¹⁰² « Mon évaluation » et « moi ».

avec l'enseignant. Or, encore une fois, aucun espace n'est prévu à cette fin, ce qui contrecarre inévitablement un quelconque processus de validation scientifique.

Troisièmement, le partage par la communication des produits de l'investigation avec la communauté de la classe et au-delà n'est pas prévu non plus. Contrairement à des chercheurs qui préparent les affiches destinées aux pairs lors de congrès ou encore qui rédigent des articles scientifiques pour publication dans des journaux périodiques, on ne demande pas l'élaboration et la présentation de comptes rendus, d'exposés, ou de mémoires scientifiques du travail réalisé, autre que le même *dossier de l'élève* à remplir pour tout le monde. Il n'y a pas d'évaluation par les pairs planifiée, ni aucune rétroaction.

Contrairement à la pratique sociale de référence, le travail en commun et la communication scientifique semblent donc être entièrement laissés de côté par cette SAÉ. Nous pouvons dès maintenant deviner de quelle posture épistémologique cette approche individuelle relève et appréhender les effets de cette élision du collectif sur le soutien espéré du dispositif par un enseignant désirant proposer une approche basée sur une épistémologie actuelle des sciences.

4.4.1 La coconstruction par la communication

L'enseignant adoptant une posture épistémologique empiricoréaliste a tendance à montrer en classe une activité scientifique autonome et extérieure à la société. L'histoire

des sciences est présentée comme une succession de grands découvreurs (Zbidi, 2010). Des séances expérimentales où les élèves sont amenés à faire la même expérience – choisie parce qu’elle fonctionne bien – se déroulent dans un même lieu et à une même heure. Parce qu’habituellement simultanées, ces expérimentations se déroulent en petits groupes de deux à quatre élèves, entre autres, pour des motifs d’ordre logistique. D’inspiration behavioriste et cognitiviste, les manipulations et les analyses ne requièrent pas forcément le travail en équipe¹⁰³. Ainsi, la collaboration n’est pas nécessaire à l’atteinte du but de compréhension et de mémorisation des connaissances. D’ailleurs, des examens individuels évaluant le développement d’habiletés techniques sont ordinairement prévus.

En revanche, l’enseignant optant pour une approche basée sur une épistémologie socioconstructiviste présente et discute idéalement d’une version plus nuancée de l’histoire des sciences. Comprenant que le travail des chercheurs implique une importante dimension collective, et que la construction de la connaissance se fait par un processus d’adaptation aux contraintes du milieu, il considère l’élève comme un coacteur dans la construction de la connaissance au sein d’une communauté d’apprenants engagés dans la résolution d’un problème. Faisant d’une pierre deux coups, il intègre ainsi – par la bande – une prise en compte des processus cognitifs des élèves. Il est possible pour l’enseignant de jouer un rôle de porte-parole de cette communauté scientifique, ou encore celui d’un

¹⁰³ Cependant, comme deux têtes valent mieux qu’une, une coopération peut faciliter l’extraction de la signification de l’activité.

expert. Il peut ainsi organiser la tâche en petits groupes de *chercheurs novices*, permettant la coconstruction des connaissances et d'augmenter la participation et la créativité nécessaires au traitement de situations ouvertes non familières. À l'inverse des séances traditionnelles impliquant des *fiches de laboratoires*, l'enseignant insiste sur l'importance des interactions entre les groupes. Un débat entre individus de cette communauté peut ainsi générer un conflit sociocognitif, un moteur puissant de l'apprentissage. Pour ce faire, des échanges entre élèves doivent avoir lieu et les conceptions partagées et confrontées. Bien que plusieurs auteurs prônent de façon primordiale les débats scientifiques (Fabre et Orange, 1997), le processus de validation peut simplement prendre la forme de discussions, d'argumentations et de mise en commun à chacune, ou à certaines des étapes de l'expérimentation. Cela permet aux élèves de prendre conscience de l'une des caractéristiques essentielles du travail scientifique, soit qu'un résultat n'est valide scientifiquement que s'il est partagé, discuté et critiqué par les pairs. Il est alors important pour l'enseignant de faire ressortir l'insuffisance des résultats obtenus par un seul groupe et la nécessité de les remettre en question et de les confronter avec ceux obtenus par d'autres équipes jusqu'à l'obtention d'une convergence suffisante pour que la communauté scientifique les accepte (Gil-Pérez, 1993). Pour ce faire, les fruits de la démarche peuvent être partagés sous forme d'articles ou d'affiches scientifiques, de façon analogue aux chercheurs.

La démarche de recherche des élèves en équipes de *chercheurs novices*, et la validation des connaissances par l'interaction des équipes entre elles et avec des experts

deviennent ainsi deux éléments essentiels d'une transposition la plus authentique possible des pratiques sociales de référence basées sur une épistémologie contemporaine. Qui plus est, ces deux aspects relèvent d'une orientation socioconstructiviste de l'apprentissage. Malheureusement, la SAÉ analysée n'a nettement pas été conçue dans l'optique de refléter cette dimension collective de l'activité scientifique, et le choix d'une telle individualité ne peut de ce fait relever d'une posture épistémologique socioconstructiviste de l'enseignant¹⁰⁴.

4.5 La validité de la SAÉ pour un ESFI

Dans le but de vérifier si la SAÉ *Le confort au foyer* peut être intégrée de façon cohérente dans un ESFI et de soumettre des pistes d'amélioration concernant les principaux thèmes abordés, il est important dans un premier temps de déterminer le type de dispositif auquel la SAÉ appartient. Une catégorisation est ainsi tentée, et une explication de l'utilité selon l'objectif de formation est par la suite étayée.

4.5.1 La typologie du dispositif

Afin de bien distinguer les attributs en jeu, il est important avant tout d'apporter quelques précisions à propos du vocabulaire. En termes scolaires, un exercice consiste en

¹⁰⁴ Cela ne signifie pas que l'enseignant utilisant ce dispositif doit opter automatiquement pour une tâche entièrement individuelle. Cela indique seulement que la construction commune des connaissances par la coopération et la confrontation n'est pas obligatoire pour compléter l'activité.

l'application simple d'une procédure toute faite (théorème, règle, formule). Par contre, résoudre un problème, ce n'est pas trouver une réponse. C'est plutôt entrer dans une dynamique de recherche.

Un problème dit *classique* se caractérise par le fait qu'une solution est toujours présente. L'énoncé contient toutes les informations nécessaires, et les élèves possèdent le modèle de résolution et les savoirs nécessaires. La connaissance est donc un moyen de résoudre le problème. L'objectif de ce type d'activité est habituellement l'évaluation formative ou sommative. Si le problème contient plusieurs étapes intermédiaires non précisées, il est qualifié de *complexe*.

Des problèmes *de recherche* peuvent également lancer une activité. L'élève ne dispose pas des modes de résolution à employer et doit donc les inventer. Il peut possiblement exister plusieurs chemins et plusieurs solutions. C'est ce type de problème qui compose les dispositifs par *problèmes ouverts* et par *situations-problèmes*. Tous deux prennent l'activité de recherche pour modèle. La situation est riche et complexe, liée au réel et fait appel à plusieurs compétences. Le problème produit un effet de sens dans le champ des connaissances de l'élève; il est perçu comme une énigme et il fait naître un questionnement. Le fonctionnement est collectif et stimule les conflits sociocognitifs. Plusieurs moments de métacognition sont présents, dont l'autoévaluation de la solution (pas apportée par l'enseignant) et le retour réflexif quant aux stratégies mises en œuvre et au transfert possible dans des cadres différents.

Les problèmes ouverts se situent dans un domaine conceptuel familier des élèves; ceux-ci possèdent déjà quelques notions. Ils sont caractérisés par un énoncé court n'induisant ni la (les) méthode(s) de résolution, ni la (les) solution(s). Il n'y a guère non plus de question intermédiaire. La recherche en petits groupes débouche fréquemment sur une présentation de la réalisation du travail. Le but fondamental est de donner l'occasion à l'élève de mettre en œuvre une véritable démarche de recherche (qui peut être expérimentale) ressemblant le plus possible à la pratique sociale de référence. Le chemin suivi (le processus) est donc essentiel et même plus important que le résultat (le produit). Le développement des savoir-faire et des savoirs-être peuvent ainsi être priorisés. Comme les problèmes ouverts se centrent sur l'apprenant et que leur entrée n'est pas disciplinaire, bien qu'ils puissent être utilisés en S&T, ces dispositifs sont donc essentiellement qualifiés de pédagogiques¹⁰⁵.

En revanche, la situation-problème est davantage un dispositif qui peut être qualifié de didactique¹⁰⁶. Il permet prioritairement de construire des savoirs. Dans le cadre du cours de S&T, il peut s'agir de problèmes essentiellement liés à des questions scientifiques, très généralement résolus par les chercheurs, et qui sont transposés didactiquement à des fins d'apprentissage (Orange, 2005, p. 6). Le problème y est plus

¹⁰⁵ Les mêmes méthodes et les mêmes démarches peuvent être invoquées quel que soit le champ du savoir concerné (Weisser, 2010).

¹⁰⁶ Les dispositifs didactiques « seront différents selon la matière étudiée, puisqu'ils se réclament d'une base épistémologique » (Weisser, 2010, p. 293).

cadre et est basé sur un obstacle à franchir par la classe, obstacle (épistémologique) préalablement bien identifié, qui peut alors constituer un objectif-obstacle, comme le propose Martinand (1986). La résolution du problème mène à un remaniement des conceptions, à la construction d'un concept scientifique¹⁰⁷. Afin d'illustrer concrètement ce processus par un exemple, attardons-nous à la nature même du problème dans le cas précis qui nous intéresse. Des obstacles épistémologiques durs et persistants dans les raisonnements et les explications des élèves de même âge que ceux auxquels notre SAÉ est destinée sont fréquemment répertoriés et concernent l'énergie thermique :

Il n'y a pas de distinction entre la chaleur et la température, la température est une propriété intrinsèque de la matière, il existe des objets chauds et froids par nature, le chaud et le froid sont deux entités distinctes, les relations thermiques entre un objet et son environnement sont ambiguës (Ravanis, 2014)

Ces obstacles sont bel et bien en lien avec le problème d'échange de chaleur et sa résolution en comparant les capacités isolantes¹⁰⁸. Pour ce faire, il doit nécessairement utiliser la formule de l'énergie thermique¹⁰⁹. La maîtrise de ce concept vise ainsi directement à franchir des obstacles énumérés. Malheureusement, le manque de problématisation et de réflexion quant à l'intérêt du problème empêche le pas de plus vers l'explicitation de l'objectif-obstacle tant cher à Martinand.

En référence à la catégorisation de la liberté d'action des élèves (tableau 1), ce qui distingue les niveaux deux et trois est l'identification et la description par l'élève ou le

¹⁰⁷ On peut y reconnaître le concept d'évolution par rupture des sciences soutenu par Bachelard (1967).

¹⁰⁸ À la sous-section *J'expérimente*, on demande à l'élève de « calculer la quantité d'énergie thermique perdue par l'eau pour chacun des essais effectués ».

¹⁰⁹ $Q = mc\Delta T$, où c est la capacité thermique massique d'une substance, m sa masse et T sa température.

maitre de l'objet de l'expérience. Considérant l'absence de problématisation¹¹⁰ et le déroulement de la SAÉ qui prévoit que l'élève émette une hypothèse et élabore un protocole, tels Blanchard *et al.* (2010), nous qualifierions la SAÉ de démarche expérimentale *guidée* (niveau deux). Considérant par ailleurs la nature bien cadrée du problème et l'objectif d'apprentissage de connaissances clairement visible, nous cataloguerions le dispositif analysé davantage dans les situations-problèmes que dans les problèmes ouverts¹¹¹.

Les conditions nécessaires à la problématisation ont été très étudiées durant les dernières décennies, et elles sont souvent pointées comme étant la source de nombreuses difficultés. Plusieurs auteurs ont ainsi relevé des avantages à la situation-problème de type *guidé* plutôt que de type *ouvert* (niveau trois). Darley (1996) prône un problème préalable, clairement formulé dans un cadre théorique lui-même clairement circonscrit. Il soutient que ces situations d'apprentissage peuvent grandement varier, et elles ne sont pas nécessairement uniformisées, puisque :

Des propositions originales peuvent toujours apparaître lors de la formulation des hypothèses ou lors de l'élaboration du protocole, contribuant ainsi à la diversité des solutions possibles. Celles-ci sont cependant confinées dans un champ d'application qui reste le même pour l'ensemble de la classe et permet une gestion pédagogique de la séance (p. 40)

¹¹⁰ Une recension de la documentation laisse constater une certaine disparité entre les auteurs quant aux conditions nécessaires à la qualification précise de problème ouvert ou de situation-problème; parfois les critères énumérés précédemment suffisent. Parfois la problématisation par les élèves est obligatoire pour les caractériser ainsi.

¹¹¹ D'ailleurs, l'analyse préliminaire de l'ensemble des SAÉ offertes par cet éditeur pour le programme STE en quatrième secondaire dénote une homogénéité de la stratégie d'enseignement par situation-problème guidée.

En opposition aux idées développées précédemment, il soutient même qu'une ouverture trop grande du problème ne serait pas représentative des pratiques des chercheurs :

Se mettre d'accord, préalablement à toute procédure de test, sur le problème que l'on souhaite traiter au sein de la communauté scientifique que constituera la classe et exploiter au mieux une situation toujours très, souvent trop, riche sans la diversifier inutilement fait partie des contraintes qui s'imposent à toute communauté scientifique (p. 40)

Toutefois, pour la grande majorité des travaux en didactique et en pédagogie, les avantages soulevés par une problématisation restreinte semblent plutôt pointer vers l'évitement de difficultés liées à l'application (gestion de classe, temps limité, programme trop chargé) et la cause vers une posture épistémologique empiricoréaliste de l'enseignant.

4.5.2 Un choix dépendant de l'objectif de formation

Il ne faut pas perdre de vue que l'aboutissement général de l'ESFI est de développer à la fois une compréhension des pratiques et des connaissances scientifiques en faisant vivre une démarche de recherche en tant que moyen et objet d'apprentissage. Toutefois, étant donné que d'autres approches plus simples à mettre en œuvre ciblent déjà spécifiquement l'acquisition des connaissances (déclaratives, procédurales et conditionnelles) et les habiletés, par exemple une approche cognitiviste proposant des résolutions de problèmes et des exercices, la mise de l'avant de cette approche complexe, l'ESFI, vise davantage à développer la compréhension des pratiques, l'esprit et les attitudes de recherche. C'est ce qui la distingue des stratégies plus traditionnelles.

En ce sens, il apparaît logique que l'enseignant de S&T priorise de temps à autre l'utilisation d'un dispositif pédagogique de problème ouvert. En mettant d'emblée l'élève dans la complexité et en lui faisant emprunter des chemins tortueux, il le place dans une condition épistémologique liée à la pratique de référence. De plus, il priorise la communication par l'élève du résultat de sa recherche :

Les scientifiques doivent communiquer, en français comme en anglais (ou dans une autre langue), doivent décrire et analyser leurs résultats tant à l'écrit qu'à l'oral, ainsi que leur démarche avec une argumentation pertinente. Ils doivent faire preuve d'exigence et de rigueur dans la construction de leur raisonnement ce qui nécessite l'emploi d'un vocabulaire adapté. Les sciences contribuent ainsi à un renforcement de la maîtrise de la langue, qu'elle soit maternelle ou étrangère. Cette compétence, présente dans les activités expérimentales « traditionnelles », est renforcée notamment dans le cadre de la résolution de problèmes ouverts (IGEN, 2011, p. 29)

Ce dispositif pédagogique en est un de choix pour développer la compétence *communiquer à l'aide des langages utilisés en science et en technologie* efficacement, une compétence souvent négligée. Sans prétendre à l'identité parfaite, cette stratégie relativement authentique semble préférentiellement adaptée à l'apprentissage de la démarche et des attitudes scientifiques.

Le choix du dispositif pédagogique/didactique à utiliser est néanmoins une question de priorités. Si le but de formation est avant tout l'accès à des savoirs constitués, l'enseignant tenant compte de plusieurs caractéristiques épistémologiques contemporaines, autant que d'éléments psychologiques et didactiques, a avantage à utiliser l'ESFI plutôt que les méthodes d'enseignement plus traditionnelles et ainsi choisir une situation-problème. La centration sur le dépassement d'un obstacle et les consignes

précisément définies font en sorte que l'élève ne puisse aller au bout sans apprendre, quoique le processus pour s'y rendre soit contraignant et pas idéalement authentique. Puisque pouvant intégrer de nombreuses connaissances, Boilevin (2005) déclare que la situation-problème peut même être une solution de rechange au cours lui-même.

Toutefois, Brunet (1998) met en garde que :

La situation-problème n'est aucunement une méthode universelle pouvant être employée tout au long du programme et ce, pour deux séries de raisons : tout d'abord parce qu'elle est relativement gourmande en temps [...], en temps d'enseignement [...] et en temps de préparation pour l'enseignant; [...], mais surtout une situation-problème n'est adaptée qu'à des objectifs d'apprentissage bien particuliers : ceux qui correspondent à un changement radical de conception des élèves (p. 167)

En somme, bien que la SAÉ analysée soit constituée d'une situation-problème de type *guidé* qui semble intégrer à la fois l'apprentissage de connaissances et de la démarche, le problème ouvert reste plus conforme aux pratiques sociales de référence. De plus, les problèmes fermés et cadrés étant abondamment déjà utilisés, nous pensons que ce qui manque aux élèves est l'apprentissage des attitudes scientifiques et la compréhension de la démarche expérimentale telle que vécue par un chercheur davantage que celle de connaissances disciplinaires en tant que telles. C'est pourquoi il est peut-être judicieux pour l'enseignant de S&T désirant mettre en œuvre un ESFI de proposer parfois à ses élèves des problèmes ouverts en classe.

4.6 Des pistes d'amélioration du dispositif

Afin que la SAÉ puisse être utilisée dans le cadre d'un ESFI cohérent, des améliorations sont maintenant suggérées. L'objectif de formation ¹¹² n'étant pas mentionné explicitement par l'éditeur, il n'est pas connu avec certitude. Les pistes d'améliorations sont donc proposées selon le dispositif qui est hypothétiquement envisagé¹¹³.

Dans le cas où l'enseignant privilégie le développement des attitudes de recherche (engagement et implication, esprit d'incertitude, interaction), de nombreuses transformations devraient être apportées à la SAÉ pour en arriver à une activité s'apparentant à un problème ouvert. Comme proposé par Boilevin (2005), cela va de la suppression des données du problème et évidemment des questions de connaissances à chercher dans le manuel et des questions intermédiaires, de la centration de l'activité sur l'expérience et de la linéarité des étapes, en passant par la planification de la production de comptes rendus de recherche à présenter et l'organisation de moyens de mettre de l'avant la dimension collective de la recherche. La tâche est de taille. Qui plus est, les élèves devraient déjà posséder une certaine base théorique. Puisque la SAÉ a apparemment d'abord été élaborée dans le but d'inclure des connaissances spécifiques,

¹¹² Apprentissage de la démarche ou de connaissances disciplinaires.

¹¹³ Précisons que l'analyse de la SAÉ porte uniquement sur ce qui est édité formellement. Cela ne signifie nullement que l'enseignant l'utilisant ne puisse ajouter, soustraire ou transformer certaines parties. Pour ce faire, une version WORD modifiable de toutes les SAÉ proposées par cet éditeur est disponible et accessible en ligne par l'entrée d'un code d'accès.

considérant les modifications majeures à apporter, nous mettons en doute l'efficacité de cette refonte complète.

En revanche, envisageant une situation-problème plus optimale pour l'apprentissage des élèves, des améliorations modérées peuvent être apportées. Cela inclut la modification du matériel didactique *dossier de l'élève* et l'inclusion de moments charnières en classe.

D'abord, le dispositif pourrait être réformé pour évidemment offrir une meilleure problématisation – ou une problématisation tout court –. Celle-ci devrait obligatoirement tenir compte des préconceptions ou des expériences de chacun afin de donner du sens à la tâche et de hausser l'intérêt. Pour y arriver, l'énoncé complet du problème par la présentation des données entières et les questions précises à rechercher dans le manuel devraient être évités. Prônant la construction du problème par la situation complexe, De Vecchi et Carmona-Magnaldi (2002) suggèrent que l'enseignant, après avoir exposé une situation, devrait essentiellement poser moins de questions pour susciter un questionnement chez l'élève lui-même :

L'expérience montre qu'on peut ne pas les poser : les élèves les trouveront d'eux-mêmes [...] Il nous semble indispensable d'apprendre à problématiser dans la complexité et de prendre conscience que si l'on veut problématiser c'est justement parce que la situation est complexe (p. 102)

Nous pourrions en arriver à un énoncé simple, par exemple : « Rico a l'environnement à cœur et est à l'affût des nouvelles technologies efficaces. Il désire devenir propriétaire et possède 100 000 \$ en banque ». L'enseignant pourrait faire réfléchir les élèves à leur

relation avec l'activité (coût de chauffage, confort, terres inondées par les barrages hydroélectriques, etc.), ou encore aux applications possibles concrètement (construction résidentielle, rénovation, etc.). Au lieu de fournir les textes informatifs constituant la pose du problème, l'enseignant pourrait proposer la lecture critique de véritables articles scientifiques simples (capacité thermique massique de nouveaux matériaux, tests comparatifs de perte de chaleur, etc.), ou à tout le moins, d'articles de revues scientifiques tels *Québec Science* ou *Science et Vie*. Le visionnement de courtes vidéos peut être aussi inclus. Les possibilités sont vastes. Des analyses qualitatives aidant à comprendre et à préciser les situations proposées pourraient également être effectuées (manipulation des isolants et note des densités, des aspects, des poids, des précautions à prendre, inventaire du matériel de laboratoire disponible, etc.) dans le but de formuler des questions pertinentes sur ce que l'on cherche. L'idée serait éventuellement d'en arriver à faire expliciter l'obstacle épistémologique à franchir (la confusion entre la température, la chaleur et l'énergie), pour ensuite en faire un objectif ferme (objectif-obstacle) et enfin faire réfléchir à ce que pourrait apporter le test expérimental de différents isolants. L'important est d'en arriver à un consensus pour que tous travaillent à la résolution d'un même problème. Une identification et une description de l'objet de l'expérience réussie, soit une bonne problématisation, feraient passer le dispositif didactique du statut de *guidé* à *ouvert* (tableau 1). Les auteurs didacticiens et pédagogues recommandant l'ESFI s'accordent pour dire qu'il s'agit de la clé pour une situation-problème qui atteint ses buts de formation.

Ensuite, le problème ayant été posé, les hypothèses et les moyens de résolution envisagés peuvent varier. Concernant la linéarité de la méthode, quoique l'hypothèse à tester doive être enserrée dans un cadre théorique, la SAÉ analysée se limite à une seule. Nous croyons que ce manque de ramification n'est pas nécessaire puisque, entre autres, une véritable recherche peut en contenir plusieurs. Il en va de même avec des protocoles pluriels, la multiplication possible des essais et les tâtonnements entre les étapes à permettre. Cela en complique toutefois l'application, et une situation-problème peut parfois cadrer ces éléments. Cariou (2010) affirme que :

Établir des liens cohérents entre un problème, une ou des hypothèses, en discerner des conséquences testables... participe, sans conteste, à la formation de l'esprit scientifique. Mais il doit alors être bien clair pour tout le monde que, d'une part, ce n'est pas parce que l'étape suivante *paraît logique* qu'elle est pour autant *prévisible*, et que, d'autre part, les élèves d'un lycée ne feront pas en deux heures ce qui prit deux ans à Louis Pasteur (p. 284)

L'enseignant choisissant de contenir la divergence de l'expérience devrait ainsi être limpide et explicite en ce sens et s'assurer que les élèves le comprennent bien.

Enfin, chose certaine, pour favoriser les interactions, le travail collectif et la communication devraient être davantage prévus, en commençant par la modification du vocabulaire de l'outil (préférer le pluriel). Le travail en équipe pourrait consister en la création de petits groupes de *chercheurs novices*, incluant des rôles à jouer pour chacun. Le plus important serait d'encourager la discussion des idées individuelles, l'expression des préconceptions et des confrontations des points de vue entre les élèves et avec l'enseignant. Pour cela, l'organisation du groupe classe est essentielle. Il faut ainsi prévoir des temps de réflexion et de production en petits groupes, des temps de communication

des travaux de groupes et des temps de discussion en classe entière, principalement lors des phases de problématisation (recherche) et de résolution du problème commun (production) (Boilevin, 2005), ainsi que les espaces de consignation associés dans le *dossier de l'élève*. Le partage peut même aller jusqu'à l'évaluation conjointe des élèves d'un même petit groupe. Les connaissances seraient donc construites à partir de ces interactions entre pairs et seraient validées en fin de séquence.

Notons qu'un ESFI, par définition prenant en compte les caractéristiques psychocognitives des élèves, prévoit, spécialement dans le cas d'une situation-problème, des activités de structuration. Celles-ci n'existent pas dans la pratique sociale de référence, mais sont nécessaires pour la fonction d'apprentissage. Nous recommandons donc de demander aux élèves une analyse plus soignée des résultats (interprétation physique et fiabilité) et des efforts d'intégration plus formels, par exemple, par la construction de synthèses, de cartes conceptuelles, etc. que ce qui est présentement proposé dans la SAÉ. L'idée est de mettre en relation des connaissances diverses, par exemple en intégrant des notions précédentes. Peut aussi être demandée la prise en considération de perspectives ouvertes éventuelles (comparaison avec d'autres études, problèmes associés, etc.) et des implications Sciences-Techniques-Société des conclusions de la recherche effectuée (applications possibles, retombées nuisibles, avantages, inconvénients, etc.). Ces activités de structuration sont requises, autant pour les situations-problèmes que pour les problèmes ouverts, pour permettre aux élèves d'être capables de réinvestir les connaissances dans des situations futures (Grangeat, 2013).

Par ailleurs, ajoutons que tous les objets d'étude ne se mettent pas identiquement en œuvre par l'ESFI. Comme discuté antérieurement, le problème est à la base de l'activité scientifique et est également le moteur de tout apprentissage. Cette assise fondamentale de la psychologie cognitive fait de la résolution de problèmes un processus intellectuel capital dans l'acquisition des savoirs. Une stratégie d'enseignement par résolution de problème peut être performante lorsque les éléments d'un problème peuvent être cernés assez nettement, par exemple en mathématiques. Toutefois, ce processus, prenant appui sur le passage de l'état mental initial vers l'état final, est très restrictif et peut conduire à une impasse didactique dans le cas de disciplines moins bien définies (physique, biologie, technologie) où le problème n'apparaît parfois pas simplement¹¹⁴ (Brunet, 1998). De plus, alors que les problèmes scolaires posés par les manuels et les enseignants sont généralement bien structurés, les types de problèmes auxquels les élèves sont confrontés dans des situations réelles sont, pour la plupart, ouverts et mal structurés (Chin et Chia, 2006). Cela peut créer un « risque de problèmes artificiels, sans connexion avec les enjeux sociaux ou scientifiques, dont le traitement conduirait alors à des solutions sans enjeux » (Orange-Ravachol, 2014, p. 114). Les auteurs s'intéressant à cette situation parlent alors de *problèmes complexes flous*¹¹⁵. L'idée est de passer d'une imprécision et d'une complexité qui pose un embarras pour l'enseignement à un flou qu'il s'agit de

¹¹⁴ En raison d'un espace-problème difficile à décrire, pas d'algorithme de résolution envisageable, données pas toutes disponibles, côté multifacettes de certains problèmes.

¹¹⁵ De l'anglais *ill-structured problems*.

promouvoir, d'entretenir et de contrôler pour garantir le processus d'apprentissage, pointant dans le même sens que la problématisation :

[Il y a] nécessité de flouter et de complexifier les problèmes de cette discipline scolaire, et même de recourir à des controverses socio-scientifiques. Les élèves seraient ainsi contraints de s'engager dans des débats et de problématiser, ce qui en conséquence modifierait leur approche du fonctionnement de la science (Orange-Ravachol, 2014, p. 115)

Cela peut passer par la révision des énoncés de départ pour les rendre véritablement problématiques et obliger l'élève à problématiser et à modéliser.

CHAPITRE V

UN REGARD CRITIQUE SUR L'INTERVENTION

À la lumière des résultats obtenus, de leur interprétation et de la discussion, dans ce chapitre, nous présentons un regard critique concernant l'action didactique et les concepts pédagogiques et didactiques analysés. La première section aborde d'abord l'intervention telle qu'elle a été effectivement vécue en classe. La deuxième cible ensuite certains pièges à éviter pour un enseignant en S&T désirant déployer un ESFI, et finalement, la troisième résume les grandes lignes de cet essai par une synthèse.

5.1 L'intervention telle que vécue durant le stage

Lors de la mise en œuvre de la séquence intégrant la SAÉ durant le deuxième stage à l'automne 2016, nous nous sommes heurté à la dure réalité du terrain. Tout ne s'est absolument pas déroulé comme prévu. Ayant espéré la proposer telle quelle aux élèves, incluant cependant une résolution en dyades et quelques moments d'enseignement explicite présentant des notions à maîtriser dans *La mise en contexte*, nous avons dû rapidement l'adapter, sans quoi, vu le faible niveau d'autonomie des élèves et un sentiment de déroute contagieux, l'activité aurait été une catastrophe intégrale. Nous avons aussi constaté un manque flagrant d'engagement de la plupart d'entre eux.

D'abord, au fil des séances, nous avons apporté des modifications facilitantes à la tâche. Premièrement, ayant remarqué que les élèves semblaient totalement démunis à chercher les réponses aux questions de la sous-section *Je m'interroge* dans le manuel de référence, nous avons indiqué à chacune des questions les pages où trouver les réponses. Nous avons deuxièmement fait le choix de présenter en amont les grandes lignes d'une expérience typique à réaliser, la même pour tout le monde, demandant toutefois de rédiger leur propre protocole pour y arriver. Cela a été ardu. Nous avons troisièmement fourni un gabarit de tableau à compléter pour noter les résultats. Bref, la SAÉ a été transformée en une succession d'exercices relativement simples compris dans un scénario. Nous sommes loin de la pratique sociale de référence des scientifiques. L'idée était de tenir compte de la *zone proximale de développement* des élèves¹¹⁶.

Un défi réside aussi dans ce qui est appelé *le paradoxe de la construction d'un savoir*. Nous désirions faire produire les réponses adéquates par l'élève, alors que celui-ci n'en était pas capable encore, puisque l'objet premier de l'enseignement était justement qu'il s'approprie par lui-même les savoirs nécessaires pour y parvenir. Le secret, mais aussi la difficulté, est donc d'utiliser des stratégies pour que le projet d'enseignement et le savoir à transmettre demeurent cachés pour éviter que leur verbalisation ne conduise à

¹¹⁶ Concept issu des travaux de Vygotski (1980) selon lequel, si l'élève peut accomplir la tâche sans aide, celle-ci est trop facile. S'il n'y arrive pas, même avec l'aide d'une personne experte, elle est trop difficile. L'enseignant doit donc viser, pour des apprentissages optimaux, que la tâche puisse être réalisée avec un peu d'aide.

un effondrement de la tâche intellectuelle. Dire trop clairement à l'élève ce qu'il veut obtenir sabote l'activité et l'enseignant risque de ne pas obtenir l'effet voulu. C'est pour cette raison que mener une situation-problème visant l'acquisition à la fois d'attitudes de recherche et des savoirs disciplinaires précis, ayant à sa base une problématique en quelque sorte non problématisée par les élèves, est une tâche extrêmement laborieuse. Qui plus est, comme prévu par la SAÉ, l'interaction entre les dyades n'a pas été encouragée par des moments de discussion de points de vue et de validation des connaissances. Nous étions ainsi dans une situation où nous devons prendre en charge tous les élèves presque individuellement au lieu qu'ils puissent se consulter. Beaucoup d'enseignants pointent allègrement le manque d'autonomie des élèves pour justifier le formatage et la conduite serrée des séances. Malheureusement, cette compétence pouvant évidemment difficilement se développer dans un cadrage ferme, on a affaire à un cercle vicieux.

À la défense des élèves, il est rare de voir pratiquer en classe de S&T des approches hypothéticodéductives dignes de ce nom. Cela peut facilement se vérifier par l'anxiété exprimée par ces élèves relativement âgés (15-16 ans), ceux-ci n'étant absolument pas habitués à avoir une liberté d'action lors d'expérimentations ouvertes. Il s'agit d'une stratégie qui les déroutent, puisqu'ils sont surtout habitués, après une séance de travaux pratiques, à ressortir avec quelques certitudes supplémentaires, plutôt que de quitter avec un problème où nulle part se trouve la solution typique. Une inquiétude est ainsi le premier sentiment perceptible.

Ensuite, un manque d'engagement manifeste a été remarqué auprès des quatre groupes d'élèves. On ne peut pas dire que l'accueil du problème proposé en début de séquence ait soulevé un enthousiasme éclatant. Il a été souvent rapporté que le mécanisme derrière le dispositif didactique de situation-problème amène une difficulté majeure, la *dévolution* du problème. Les élèves ne voient pas la pertinence et l'intérêt de résoudre un problème qui n'en est pas réellement un pour eux. L'enseignant doit user d'astuce pour le *vendre* en quelques minutes et l'affaire est délicate. L'absence de problématisation n'est sans doute pas étrangère à ce phénomène.

Ces péripéties suggèrent qu'une adaptation du dispositif est nécessaire en amont afin de possiblement éviter quelques écueils. Voici maintenant certains conseils d'ordre plus général issus de cette intervention spécifique, mais aussi des idées discutées ailleurs dans cet essai, qui pourraient être utiles aux enseignants souhaitant intégrer les ESFI à leurs pratiques.

5.2 Pour un ESFI, certains pièges à éviter

Depuis le Renouveau pédagogique des années 2000, l'élaboration ou le choix des activités mettent l'enseignant face à plusieurs défis didactiques et des stratégies infructueuses pour les apprentissages sont fréquemment utilisées. Le présent essai permet de constater qu'une réflexion, quant aux buts de formation en lien avec les compétences à faire développer, est nécessaire *a priori*. Il fournit à l'enseignant des pistes pour fonder

sa réflexion afin de concevoir ou d'adapter un dispositif proposant une démarche expérimentale en cohérence avec l'ESFI. Certains pièges à éviter sont maintenant ciblés.

Par exemple, qu'il y ait la présence d'un problème à la base d'une expérience dans le but de refléter les exigences ministérielles a peu d'effets positifs pour les apprentissages si aucune problématisation n'est prévue et incluse dans le dispositif. Il s'agit davantage d'appliquer un format de séance que de réellement construire une séance autour d'une question problématique. Ce n'est qu'une mise en scène pédagogique et les élèves la flairent très bien; ils y sont habitués et cela ne stimule guère leur motivation. Cependant, en tenant compte encore une fois de la zone proximale de développement, il ne faudrait guère non plus verser dans une problématisation excessive d'un problème trop difficile à cerner, en lien avec un idéal épistémologique et méthodologique. Dans le cas d'élèves peu habitués, il est suggéré de les exposer graduellement au changement et de ne pas brusquer les choses, car il leur faut du temps pour s'adapter. Windschitl (2003) recommande de débiter avec des dispositifs fournissant des démarches préstructurées, pour ensuite aller vers des démarches guidées (questions proposées aux élèves) et éventuellement offrir des problèmes plus ouverts (questions élaborées par les élèves). Cela permet de déléguer progressivement la responsabilité de l'avancée du savoir.

Si par ailleurs, pour ressembler à une démarche hypothéticodéductives, la procédure pour faire formuler *la bonne* hypothèse se résume pour l'élève – comme c'est souvent le cas – à répondre à une succession de questions et associer dans une seule phrase,

de la façon la plus intelligible possible, l'ensemble des réponses à ces questions, la formulation de l'hypothèse reste encore une stratégie pour se conformer aux instructions; ce n'est rien d'autre qu'un objectif d'apprentissage déguisé et ainsi est bloquée toute expression de la pensée divergente de l'élève et la possibilité qu'il aurait de s'engager dans une analyse personnelle d'un problème à partir de ses représentations : « la démarche scientifique est caricaturée, sa logique est celle du professeur qui capture au vol les propos allant dans le sens attendu tout en ignorant les autres et en ordonnant les tâches, l'œil sur l'horloge » (Cariou, 2010, p. 20). Hélas, comme soulevé dans la problématique, c'est ainsi que les activités expérimentales sont souvent entièrement paramétrées à l'avance par l'enseignant au secondaire, et cela avec une grande homogénéité entre les écoles et les niveaux. Faire vivre une démarche de recherche aux élèves n'est pas la même chose que leur faire suivre une reconstitution artificielle peu instructive.

Enfin, malgré le but louable de socialiser les élèves, le fait que ceux-ci travaillent en équipes, comme c'est majoritairement le cas dans les classes de S&T au secondaire lorsqu'un *laboratoire* est à l'horaire, n'a que peu d'influence sur leur compréhension de la dimension sociale du chercheur si les équipes travaillent de façon indépendante, si aucune validation commune des connaissances ou une quelconque communication de la recherche ne sont effectuées. Le conflit sociocognitif, moteur de l'apprentissage, ne pouvant guère se développer et être exploité, cette organisation des activités semble donc plutôt être motivée par d'autres contraintes, probablement logistiques.

5.3 La synthèse

Comme nous l'avons constaté, l'enseignant en S&T a comme mandat clair le développement de la capacité d'agir des élèves. Il est maintenant admis que le déploiement de manières significatives des connaissances qu'ils acquièrent à l'école dans d'autres contextes passe par la compréhension de la nature de l'entreprise scientifique, laquelle requière une image réelle et représentative des sciences et de ses méthodes. Un défi de l'enseignant est de permettre à la fois cette compréhension des activités véritables des scientifiques et un apprentissage de connaissances disciplinaires.

Or, un important décalage existe entre ce souhait et les résultats mesurés issus des pratiques effectives en classe de S&T au secondaire. Le constat de la façon dont sont vécues majoritairement les activités expérimentales est même alarmant; elles consistent en des travaux pratiques peu intégrés aux autres activités d'enseignement où l'élève exécute souvent séquentiellement un protocole fermé de *fiche de laboratoire scientifique*, un peu à la manière d'une recette de cuisine. Notons que le modèle d'apprentissage privilégié n'est assurément pas celui de la construction par l'interprétation. Dans les faits, la logique dominante est liée au modèle newtonien empiricodéductif combinant induction et déduction, à savoir de proposer aux élèves une observation ou une expérimentation prototypique dont le modèle est immédiatement inféré et qui a, la plupart du temps, valeur de savoir universel. L'induction est réduite à la procédure pédagogique permettant de

passer le plus vite possible des faits à la loi en s'appuyant sur la rigueur, sur l'observation et surtout sur les mesures. Par la suite, l'inférence est rendue crédible par la référence aux faits singuliers et donc, par déduction classique. La conclusion ne peut que s'imposer. Une prétention d'atteinte d'une certaine universalité se fait par la revendication de représentativité de l'ensemble des phénomènes de ce type. Les élèves prennent ainsi conscience que les faits fondent bien le savoir. C'est une erreur de raisonnement qui nous rapproche de la logique dogmatique des scolastiques. Les résultats sont parlants : malgré les vertus attribuées à ce type d'expérimentation fortement cadré, les élèves ne développent une meilleure compréhension, ni des démarches utilisées par les scientifiques et une expertise à les utiliser, ni des concepts théoriques disciplinaires. On peut même se demander si l'absence d'explicitation d'un raisonnement hypothéticodéductif qui devrait être à l'origine de toute la démarche expérimentale scolaire et la gestion par tutelle n'hypothèque pas sérieusement la compréhension par les élèves de la finalité des actions à exécuter et, en la privant de sens, ne favorise pas l'apparition de comportements aberrants pour arriver à la bonne réponse.

De plus en plus de chercheurs en éducation considèrent que les élèves doivent vivre des situations de recherche de manière à ressembler à la façon dont les scientifiques eux-mêmes font leur travail. C'est pourquoi nous nous sommes d'abord interrogé au sujet de l'identification des caractéristiques des pratiques sociales de référence en sciences expérimentales à transposer authentiquement en S&T au secondaire. Ainsi, les savoirs sont construits collectivement par des individus intéressés socialement qui les négocient

et les valident. La démarche est articulée par une logique hypothéticodéductive, avec un problème comme point de départ et prenant assise sur une hypothèse testable et réfutable par un raisonnement déductif. Enfin, les sciences n'évoluent pas causalement et de manière rectiligne, mais bien par essais et erreurs et retours en arrière fréquents. Visant une certaine *légèreté cognitive*, seules les communications des fruits de la recherche sont scénarisées de façon idéale.

Comme il est logique de penser que, pour être en mesure de proposer aux élèves des conditions authentiques et significatives, l'enseignant doit forcément avoir lui-même préalablement une conception juste à la fois du contexte de création des connaissances scientifiques et des chercheurs, nous avons ensuite questionné le rapport entre la posture épistémologique de l'enseignant de S&T et son choix d'approche pédagogique et didactique lors d'expérimentations. Nous avons conclu que des conceptions conformes à la réalité sont synthétisées par une posture épistémologique socioconstructiviste de l'enseignant, et elles influencent effectivement son approche pédagogique/didactique. Ainsi, contrairement à celui adoptant une posture empiricoréaliste, cet enseignant est davantage porté à proposer des expérimentations plus ouvertes où l'élève a un certain pouvoir décisionnel.

Il est maintenant essentiel pour l'enseignant désireux de transposer authentiquement en classe la pratique sociale de référence du scientifique de mettre l'accent, non seulement sur les savoirs, les techniques et les instruments, mais aussi sur les interactions sociales et

les attitudes d'engagement, d'implication et l'esprit d'incertitude. Cela peut se produire dans un cadre inspiré par des avancées en psychologie cognitive, selon lequel on considère que, concernant sa propre connaissance, l'élève en est l'artisan, qu'elle se construit sur la base de connaissances précédentes, et ce, grâce aux conflits sociocognitifs. Cette vision socioconstructiviste de l'apprentissage n'est pas sans rappeler celle d'une épistémologie moderne des savoirs savants, à laquelle elle peut s'unir pour forger une approche pédagogique moderne, à savoir l'enseignement scientifique fondé sur l'investigation.

L'utilisation de cette approche est prônée par les instructions officielles, dans le cadre de diverses démarches scolaires, dont l'expérimentale. Elle prévoit l'emploi de dispositifs pédagogiques, tels que le problème ouvert et la situation-problème. Malheureusement, en raison de contraintes personnelles, matérielles et techniques, didactiques, ou encore liées à l'organisation institutionnelle, la majorité des enseignants, même ceux adoptant une posture épistémologique dite *socioconstructiviste* et désirant tenir compte des axiomes en psychologie cognitive en classe, finissent par faire vivre des activités manipulatoires plus traditionnelles déjà formatées reflétant peu la pratique de référence en sciences expérimentales et ayant démontré leur incapacité à faire développer des compétences transférables aux élèves.

Face à ce constat, nous avons étudié dans quelle mesure une situation d'apprentissage et d'évaluation proposée par une maison d'édition au Québec, le dispositif le plus susceptible de satisfaire des critères d'authenticité, offrait le soutien nécessaire

pour l'enseignant de S&T au secondaire désirant opter pour un ESFI. Pour ce faire, nous avons examiné plus précisément si les caractéristiques des pratiques sociales de référence en sciences expérimentales identifiées étaient transposées dans ce dispositif. Nous avons concomitamment expliqué l'influence de la posture épistémologique de l'enseignant de S&T sur le choix de dispositif comprenant des activités expérimentales.

Les résultats montrent que le dispositif retenu s'apparente à une situation-problème basée sur une démarche hypothéticodéductive relativement cadrée, où la problématisation est déficiente, et où la dimension collective du travail scientifique est complètement oblitérée. Les améliorations suggérées vont évidemment en ce sens.

Un retour critique concernant l'intervention déployée durant le stage soulève qu'une grande partie des difficultés vécues auraient pu être évitées par une modification *a priori* de la SAÉ. La prévision d'une certaine problématisation aurait sans doute contribué au sentiment d'engagement des élèves et les tâches auraient pu se retrouver davantage dans leur zone proximale de développement. Ces dernières ont dû être grandement adaptées. Afin de combler ces deux lacunes, il est enfin suggéré de s'y prendre progressivement, en augmentant le niveau graduellement au cours de l'année scolaire.

CONCLUSION

C'est une erreur de croire que les bons dispositifs pédagogiques et didactiques permettent aux élèves d'apprendre à agir scientifiquement entièrement par eux-mêmes, autant qu'il est faux de croire qu'ils le comprennent en mémorisant. Contrairement à une séquence d'activités disjointes de type *introduction de concepts* → *problèmes papier-crayon* → *expérience*, l'utilisation d'une situation-problème basée en partie sur l'enseignement traditionnel, ou d'un problème ouvert totalement orienté vers la pratique scientifique, peut constituer une adaptation aux contextes éducatifs intéressante de la pratique sociale de référence, notamment en sciences expérimentales. Toutefois, il faut garder en tête que le défi qui se pose n'est pas simplement en termes d'exactitude ou d'isomorphisme entre les démarches utilisées en classe de S&T au secondaire et celles des chercheurs, mais bien en termes de pertinence d'une activité face à la capacité de développement du pouvoir d'agir des élèves lorsqu'ils progressent dans leurs apprentissages et le tout, dans les limites de ce qui est possible de faire à l'école.

Dans le but de montrer toute la complexité et la richesse des pratiques scientifiques, une diversité de dispositifs devrait être utilisée selon une multitude de démarches scolaires (expérimentale, empirique, de modélisation, etc.). L'authenticité souhaitée doit néanmoins s'arrimer de près ou de loin avec les contenus du programme. C'est, entre autres, avec un équilibre entre le vécu d'une démarche développant les

attitudes des chercheurs et la construction de connaissances disciplinaires que les avancées en didactique et en pédagogie peuvent être utilisées par des enseignants socioconstructivistes désirant se lancer dans l'ESFI.

De plus, malgré le fait que faire des sciences soit une condition nécessaire à l'apprentissage des pratiques scientifiques, plusieurs évidences montrent que cela n'est pas une condition suffisante. L'enseignement explicite de volets épistémologiques devrait aussi être réalisé pour que les élèves comprennent mieux comment les sciences se construisent. On aura ainsi tout intérêt à leur faire étudier l'histoire des sciences et à les faire réfléchir sur les chemins tortueux de la connaissance.

En fin de compte, c'est aux enseignants qu'incombe la responsabilité de juger de ce qui convient de proposer aux élèves !

RÉFÉRENCES

- AAAS. (1994). *Benchmarks for science literacy* (Project 2061). New York, NY : Oxford University Press.
- Arcà, M., et Caravita, S. (1993). Le constructivisme ne résout pas tous les problèmes. *ASTER*, 16, 77-101.
- Astolfi, J.-P., Darot, E., et Ginsburger-Vogel, Y. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences: repères, définitions, bibliographies*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur.
- Aurousseau, E. (2017). *Étude de pratiques d'enseignement relatives à la modélisation en sciences et technologies avec des enseignants du secondaire*. (Thèse de doctorat, Université du Québec à Chicoutimi, Canada). Récupéré de http://constellation.uqac.ca/4360/1/Aurousseau_uqac_0862D_10366.pdf
- Bachelard, G. (1967). *La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective* (5^e éd.). Paris, France : Librairie philosophique J. Vrin.
- Barma, S. (2007). Point de vue sur le nouveau programme science et technologie du secondaire au Québec : regards croisés sur les enjeux de part et d'autre de l'Atlantique. *Didaskalia*, 30, 109-137.
- Bernard, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris, France : J. B. Baillière et fils.
- Berry, A., Mulhall, P., Gunstone, R., et Loughran, J. (1999). Helping students learn from laboratory work. *Australian Science Teachers Journal*, 45(1), 27-31.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., et 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. (2005). Enseigner la physique par situation problème ou par problème ouvert. *ASTER*, 40, 13-37.

- Boilevin, J.-M. (2013). La place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences. Dans M. Grangeat (dir.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe. Actes des journées d'étude du projet européen S-TEAM, mai 2011* (p. 23-44). France : Presses Universitaires de Grenoble.
- Bomchil, S., et Darley, B. (1998). L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste? *ASTER*, 26, 85-108.
- Brousseau, G. (1986). *Théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques*. (Thèse de doctorat, Université Bordeaux-1-Sciences-et-Technologies, France). Récupéré de <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00471995v3>
- Brown, J. S., Collins, A., et Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.
- Brunet, P. (1998). Enseigner et apprendre par problèmes scientifiques dans les sciences de la vie : état de la question. *ASTER*, 27, 145-181.
- Calmettes, B. (2013). Analyse de rapports au savoir d'enseignants stagiaires à propos de la mise en œuvre des démarches d'investigation. Dans M. Grangeat (dir.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe. Actes des journées d'étude du projet européen S-TEAM, mai 2011* (p. 211-228). France : Presses Universitaires de Grenoble.
- Caramazza, A., McCloskey, M., et Green, B. (1981). Naive beliefs in "sophisticated" subjects: Misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9(2), 117-123.
- Carbonneau, M., et Legendre, M.-F. (2002). Pistes pour une relecture du programme de formation et de ses référents conceptuels. *Vie pédagogique*, 123, 12-17.
- Cariou, J.-Y. (2010). *Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences*. (Thèse de doctorat, Université de Genève, Suisse). Récupéré de <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00521174>
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné* (2^e éd.). Grenoble, France : La Pensée Sauvage.
- Chin, C., et Chia, L. G. (2006). Problem-based learning: Using ill-structured problems in biology project work. *Science Education*, 90(1), 44-67.
- Clément, P. (1998). La biologie et sa didactique, dix ans de recherche. *ASTER*, 27, 57-93.

- Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science Scope*, 23(6), 42-44.
- Coquidé, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *ASTER*, 26, 109-132.
- Coquidé, M., Bourgeois-Victor, P., et Desbeaux-Salviat, B. (1999). Résistance du réel dans les pratiques expérimentales. *ASTER*, 28, 57-77.
- Coslin, P. G. (2013). *Psychologie de l'adolescent*. Paris, France : Armand Colin.
- Cross, D. (2013). Démarche d'investigation : analyse de pratique de classe au collège en mathématiques, physique-chimie et sciences de la vie et de la terre, impliquées dans un travail collectif. Dans M. Grangeat (dir.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe. Actes des journées d'étude du projet européen S-TEAM, mai 2011* (p. 185-196). France : Presses Universitaires de Grenoble.
- Darley, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2^e année. *Didaskalia*, 9, 31-56.
- Descartes, R. (1970). *Règles pour la direction de l'esprit*. Paris, France : Vrin.
- De Vecchi, G., et Carmona-Magnaldi, N. (1996). *Faire construire des savoirs*. Paris, France : Hachette Éducation.
- De Vecchi, G., et Carmona-Magnaldi, N. (2002). *Faire vivre de véritables situations-problèmes*. Paris, France : Hachette Éducation.
- Deaudelin, C., Lefebvre, S., Brodeur, M., Mercier, J., Dussault, M., et Richer, J. (2005). Évolution des pratiques et des conceptions de l'enseignement, de l'apprentissage et des TIC chez des enseignants du primaire en contexte de développement professionnel. *Revue des sciences de l'éducation*, 31(1), 79-110.
- Désautels, J. (2007). La vie de laboratoire en contexte scolaire : enjeux didactiques et idéologiques. Dans J.-P. Astolfi et J. Houssaye (dir.), *Savoirs et histoires. Actes du deuxième colloque Savoirs de l'éducation et pratiques de formation, mai 2006* (p. 17-32). Rouen, France. Récupéré de http://shs-app.univ-rouen.fr/civiic/revue/penser_l_education_22_Hors_serie.pdf#page=17
- Desautels, J., et Larochelle, M. (1993). Constructivistes au travail : propos d'étudiants et d'étudiantes sur leur idée de science. *ASTER*, 17, 13-40.
- Désautels, J., Larochelle, M., Gagné, B., et Ruel, F. (1993). La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique. *Didaskalia*, 1, 49-67.

- Develay, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *ASTER*, 8, 3-16.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. et Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham, Royaume-Uni : Open University Press.
- Dumas-Carré, A., et Goffard, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problèmes en physique*. Paris, France : Armand Colin.
- Duplessis, P. (2007, septembre). L'objet d'étude des didactiques et leurs trois heuristiques : épistémologique, psychologique et praxéologique. *Séminaire du groupe de recherche sur la culture et la didactique de l'information (GRCDI) et de l'Institut universitaire de formation des maîtres - Pays de la Loire (IUFM) Didactique et culture informationnelle : de quoi parlons-nous?* Récupéré de https://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_01466782
- Edelson, D. C. (1998). Realising authentic science learning through the adaptation of scientific practice. *International Handbook of Science Education*, 1, 317-331.
- Eurydice. (2006). *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. États des lieux des politiques et de la recherche*. Bruxelles, Belgique : Commission européenne, direction générale de l'éducation et de la culture.
- Fabre, M., et Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *ASTER*, 24, 37-57.
- Fabre, M. (2006). Qu'est-ce que problématiser? L'apport de John Dewey. Dans M. Fabre et E. Vellas (dir.), *Situations de formation et problématisation*. (p. 17-30). Bruxelles, Belgique : De Boeck Université.
- Flores, M. A. (2001). Person and context in becoming a new teacher. *Journal of education for teaching*, 27(2), 135-148.
- Fourez, G. (1998). *La construction des sciences, les logiques des inventions scientifiques. Introduction à la philosophie et à l'éthique des sciences*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Université.
- Fourez, G. (2002a). En écho à l'article de Fensham. *Canadian Journal of Math, Science & Technology Education*, 2(2), 197-202.
- Fourez, G. (2002b). Les sciences dans l'enseignement secondaire. *Didaskalia*, 21, 107-122.

- Fourez, G., et Larochelle, M. (2004). *Apprivoiser l'épistémologie*. Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Fraser, B. J., Giddings, G. J., et McRobbie, C. J. (1995). Evolution and validation of a personal form of an instrument for assessing science laboratory classroom environments. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(4), 399-422.
- Gagnon, M. (1977). Épistémologie génétique, science et philosophie. *Philosophiques*, 4(2), 225-244.
- Gandit, M., Triquet, E., et Guillaud, J.-C. (2013). Démarches d'investigation : des représentations d'enseignants débutants aux pratiques. Dans M. Grangeat (dir.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe. Actes des journées d'étude du projet européen S-TEAM, mai 2011* (p. 197-210). France : Presses Universitaires de Grenoble.
- Galiana, D. (1999). Les pratiques expérimentales dans les manuels scolaires des lycées (1850-1996). *ASTER*, 28, 9-32.
- Gerstner, S., et Bogner, F. X. (2009). Cognitive achievement and motivation in hands-on and teacher-centred science classes: Does an additional hands-on consolidation phase (concept mapping) optimise cognitive learning at work stations? *International Journal of Science Education*, 32(7), 849-870.
- Gess-Newsome, J. (1992). Biology teachers' perceptions of subject matter structure and its relationship to classroom practice. (Thèse de doctorat, Oregon State University, Corvallis, OR). Récupéré de <http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/20104/GessNewsomeJulie1992.pdf?sequence=1&origin=publicationDetail>
- Gibson, H. L., et Chase, C. (2002). Longitudinal impact of an inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science. *Science Education*, 86(5), 693-705.
- Gil-Pérez, D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique. *ASTER*, 17, 41-64.
- Giordan, A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris, France : Centurion.
- Giordan, A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris, France: Belin.

- Giordan, A., et Girault, Y. (1994). *Planifier l'offre d'éducation scientifique dans l'enseignement secondaire. Les aspects qualitatifs de l'enseignement des sciences dans les pays francophones*. Paris, France : UNESCO, Institut international de planification de l'éducation (IIPÉ).
- Gohau. (1987). Difficultés d'une pédagogie de la découverte dans l'enseignement des sciences dans Didactique et histoire des sciences. *ASTER*, 5, 49-69.
- Gouvernement du Québec, MÉLS. (2007). *Programme de formation de l'école québécoise*. Récupéré de [http://www1.education.gouv.qc.ca/sections/programme Formation/seconaire2/index.asp?page=math](http://www1.education.gouv.qc.ca/sections/programme%20Formation/seconaire2/index.asp?page=math)
- Grangeat, M. (2013). Modéliser les enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation : développement des compétences professionnelles, apport du travail collectif. Dans M. Grangeat (dir.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe. Actes des journées d'étude du projet européen S-TEAM, mai 2011* (p. 155-184). France : Presses Universitaires de Grenoble.
- Guilbert, L., et 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.
- Guillermit, L. (2008). *Leçons sur la critique de la raison pure de Kant*. Paris, France : Vrin.
- Hamou, P. (2002). Descartes, Newton et l'intelligibilité de la nature. Dans P. Wagner (dir.), *Les philosophes et la science* (p. 110-165). Paris, France : Gallimard.
- Haigh, M., France, B., et Forret, M. (2005). Is 'doing science' in New Zealand classrooms an expression of scientific inquiry? *International Journal of Science Education*, 27(2), 215-226.
- Halloun, I. A., et Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043-1055.
- Hasni, A., et Potvin, P. (2015). *L'intérêt pour les sciences et la technologie à l'école : résultats d'une enquête auprès d'élèves du primaire et du secondaire au Québec*. Canada : Chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie (CRIJEST) de l'Université du Québec à Montréal et de l'Université de Sherbrooke. Récupéré de <http://www.crijest.org/sites/crijest.org/files/Hasni-Potvin-Rapport-CRIJEST-2015-VF.pdf>

- Henry, M. (2006). *Analyses des situations didactiques : analyse a posteriori*. Récupéré de <http://www.pucsp.br/pensamentomatematico/henry.html>
- Hofstein, A., et Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54.
- IGEN. (2006). *L'enseignement de la physique et de la chimie au collège* (rapport n° 2006-091). Paris, France : Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche. Récupéré de <http://www.education.gouv.fr/cid4439/l-enseignement-de-la-physique-et-de-la-chimie-au-college.html>
- IGEN. (2007). *Mettre les élèves en activité au collège pour les former, les évaluer, les orienter*. (rapport n° 2007-031). Paris, France : Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche. Récupéré de <http://www.education.gouv.fr/cid5103/mettre-les-eleves-en-activite-au-college-pour-les-former-les-evaluer-les-orienter.html>
- IGEN. (2011). *Activités expérimentales en physique-chimie: enjeux de formation*. (rapport n° 2011-111). Paris, France : Ministère de l'éducation nationale, de la jeunesse et de la vie associative. Récupéré de http://www.cndp.fr/portails-disciplinaires/fileadmin/user_upload/Physique-chimie/PDF/Rapport_2011-Activites_experimentales_en_physique-chimie.pdf
- Johnson-Laird, P. N. (1994). Mental models and probabilistic thinking. *Cognition*, 50(1), 189-209.
- Johsua, S., et Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall.
- Kuhn, T. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris, France : Flammarion.
- Langlois, S. (2008). *Raisonnement scientifique et changement conceptuel réalisés par les étudiants collégiaux dans un contexte d'expériences de laboratoire ouvertes*. (Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières, Canada). Récupéré de <https://core.ac.uk/download/pdf/51238552.pdf>
- Larcher, C., et Peterfalvi, B. (2006). Diversification des démarches pédagogiques en classe de sciences. *Le bulletin de l'union des physiciens*, 886, 825-835.
- Larochelle, M., Désautels, J., et Ruel, F. (1995). Les sciences à l'école : portrait d'une fiction. *Recherches sociographiques*, 36(3), 527-555.

- Latour, B. (1989). *La science en action*. Paris, France : La Découverte.
- Latour, B., Woolgar, S., et Biezunski, M. (1988). *La vie de laboratoire : la production des faits scientifiques*. Paris, France : La Découverte.
- Lederman, N. G., et Zeidler, D. L. (1987). Science teachers' conceptions of the nature of science: Do they really influence teaching behavior? *Science Education*, 71, 721-734.
- Léonhardt, J.-L. (2009). *Science aristotélicienne et science hypothético-déductive*. Récupéré du site de l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne : <http://www.emse.fr/aslc2009/pdf/leonhardt2.pdf>
- Lin, H. s., Hong, Z. R., et Cheng, Y. Y. (2009). The interplay of the classroom learning environment and inquiry-based activities. *International Journal of Science Education*, 31(8), 1013-1024.
- Lyons, T. (2006). Different countries, same science classes: students' experiences of school science in their own words. *International Journal of Science Education*, 28(6), 591-613.
- Martinand, J. L. (1986). *Connaître et transformer la matière : des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Berne, Suisse : Peter Lang.
- Martinand, J. L. (1994). La didactique des sciences et de la technologie et la formation des enseignants. *ASTER*, 19, 61-75.
- Mellado, V. (1997). Preservice teachers' classroom practice and their conceptions of the nature of science. *Science & Education*, 6(4), 331-354.
- Meunier, J. P. (1999). Dispositif et théories de la communication. *Hermès, La Revue*, (3), 83-91.
- Millar, R. (1998). Rhetoric and reality: What practical work in science education is *really* for. Dans J. Wellington (dir.), *Practical work in school science: Which way now?* (p. 16-31). New York, NY : Routledge
- Millar, R. (2010). Practical work. Dans J. Osborne et J. Dillon (dir.), *Good practice in science teaching: What research has to say* (2^e éd.) (p. 108-134). Berkshire, Royaume-Uni : Open University Press.

- Minner, D. D., Levy, A. J., et Century, J. (2010). 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.
- Munoz, F., et Clément, P. (2007). Des méthodes statistiques originales pour analyser les conceptions d'enseignants de plusieurs pays à partir d'un questionnaire sur des questions vives. *Actes du congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation*. Strasbourg, France. Récupéré de https://www.congresintaref.org/actes_pdf/AREF2007_Francois_MUNOZ_470.pdf
- Nadeau, R., et Désautels, J. (1984). *Épistémologie et didactique des sciences*. Ottawa : Conseil des sciences du Canada.
- Newton, I. (1759). *Principes mathématiques de la philosophie naturelle, tome deuxième* (É. du Châtelet, trad.). Paris, France : Desaint & Saillant. (Ouvrage original publié en 1713 sous le titre *Mathematical principles of natural philosophy*).
- Orange, C. (2002). L'expérimentation n'est pas la science. *Cahiers pédagogiques*, 409, 19-20.
- Orange, C. (2005). Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique. *ASTER*, 40, 3-11.
- Orange, C. (2006). Analyse de pratiques et formation des enseignants. Un point de vue didactique. *Recherche et formation*, 51, 119-131.
- Orange, C. (2012). Enseigner les sciences. Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe. Bruxelles, Belgique : De Boeck Éducation.
- Orange-Ravachol, D. (2014). M. Fabre, A. Weil-Barais et C. Xypas (dir.). Les problèmes complexes flous en éducation. Enjeux et limites pour l'enseignement artistique et scientifique [présentation du livre]. *Revue française de pédagogie*, 188, 114-116.
- Perrenoud, P. (1998). La transposition didactique à partir de pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation*, 24(3), 487-514.
- Perrenoud, P. (2002). D'une métaphore à l'autre : transférer ou mobiliser ses connaissances? Dans J. Dolz et E. Ollagnier (dir.), *L'énigme de la compétence en éducation* (p. 45-60). Bruxelles, Belgique : De Boeck Supérieur.
- Popper, K. (1989). *La logique de la découverte scientifique* (N. Thyssen-Rutten et P. Devaux, trad., 1973). Paris, France : Payot. (Ouvrage original publié en 1934 sous

le titre *Logik der Forschung. Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft*).

- Popper, K. (1985). *Conjectures et réfutations. La croissance du savoir scientifique* (M.-I. B.-de Launay et M. B.-de Launay, trad.). Paris, France : Payot. (Ouvrage original publié en 1963 sous le titre *Conjectures and refutation. The growth of scientific knowledge*).
- Psillos, D., et Niedderer, H. (2002). Issues and questions regarding the effectiveness of labwork. Dans D. Psillos et H. Niedderer (dir.), *Teaching and learning in the science laboratory* (p. 21-30). Dordrecht, Pays-Bas : Springer.
- Ravanis, K. (2014). Représentations et obstacles des enfants de 10 à 11 ans sur la fusion et la solidification du sel : perspectives didactiques. *RADISMA, 10*.
- Richoux, H., et Beaufils, D. (2005). Conception de travaux pratiques par les enseignants : analyse de quelques exemples de physique en termes de transposition didactique. *Didaskalia, 27*, 11-39.
- Robardet, G. (1998). L'enseignement scientifique vu par les enseignants. La didactique dans la formation des professeurs de sciences physiques face aux représentations sur l'enseignement scientifique. *ASTER, 26*, 31-58.
- Robardet, G., et Guillaud, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Roth, W.-M., McRobbie, C. J., Lucas, K. B., et Boutonné, S. (1997). The local production of order in traditional science laboratories: A phenomenological analysis. *Learning and Instruction, 7*(2), 107-136.
- Ruel, F., Désautels, J., et Laroche, M. (1997). Enseigner et apprendre les sciences : représentations sociales de futurs enseignants et enseignantes. *Didaskalia, 10*, 51-73.
- Sadler, T. D., Chambers, F. W., et Zeidler, D. L. (2004). Student conceptualizations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education, 26*(4), 387-409.
- Samson, G. (2004). *Étude exploratoire du transfert des connaissances entre les mathématiques et les sciences auprès d'une clientèle de 4e secondaire*. (Dissertation doctorale non publiée). Université du Québec à Trois-Rivieres, Canada.

- Samson, G. (2009). Valeurs curriculaires, insertion socioprofessionnelle et transfert des apprentissages : le cas des CFER. *Revue des sciences de l'éducation*, 35(1), 133-151.
- Schneuwly, B. (1995). De l'utilité de la "transposition didactique". Dans J.-L. Chiss, J. David et Y. Reuter (dir.), *La didactique du français : état d'une discipline* (p. 47-62). Paris, France : Nathan.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., et Crawford, B. A. (2004). 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 Education*, 88(4), 610-645.
- Sensevy, G. (2006). L'action didactique. Eléments de théorisation. *Revue suisse des sciences de l'éducation*, 28(2), 205-225.
- Séré, M.-G., Leach, J., Niedderer, H., Psillos, D., Tiberghien, A., et Vicentini, M. (1998). *Labwork in science education. Improving science education: issues and research on innovative empirical and computer-based approaches to labwork in Europe. Final Report* (project PL 95-2005). Bruxelles, Belgique : Commission européenne, Targeted Socio-Economic Research Programme (TSER). Récupéré de <http://www.didasco.u-psud.fr/cms/documents/RapportFinalLSE.PDF>
- Singer, S. R., Hilton, M. L., et Schweingruber, H. A. (2005). *America's lab report: Investigations in high school science*. Washington, D.C. : National Academies Press. Récupéré de <https://www.nap.edu/read/11311>
- Spencer, H. (1894). *De l'éducation intellectuelle, morale et physique*. Paris, France : F. Alcan.
- Solomon, J., Scott, L., et Duvveen, J. (1996). Large-scale exploration of pupils' understanding of the nature of science. *Science Education*, 80(5), 493-508.
- Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique*. Montréal, Canada : Éditions Logiques.
- Therriault, G. (2008). *Postures épistémologiques que développent des étudiants des profils sciences et technologies et univers social au cours de leur formation initiale à l'enseignement secondaire : une analyse de leurs croyances et de leurs rapports aux savoirs*. (Thèse de doctorat, Université du Québec à Rimouski, Canada). Récupéré de <http://www.archipel.uqam.ca/1311/1/D1697.pdf>
- Therriault, G., et Harvey, L. (2011). Postures épistémologiques que développent de futurs enseignants de sciences et de sciences humaines lors des cours de formation

disciplinaire et pratique : l'apport d'une recherche mixte. *Recherches qualitatives*, 30(2), 71-95.

Tiberghien, A., Veillard, L., Le Maréchal, J. F., Buty, C., et Millar, R. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several european countries. *Science Education*, 85(5), 483-508.

Verhaeghe, J.-C., Wolfs, J. L., Simon, X., et Compère, D. (2004). *Pratiquer l'épistémologie : un manuel d'initiation pour les maîtres et formateurs*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Université.

Vincent, S., Garnier, C., et Marinacci, L. (2006). Les pratiques éducatives en sciences et en technologie : points de vue d'enseignants et d'enseignantes. *Canadian Journal of Math, Science & Technology Education*, 6(2), 119-143.

Vygotski, L. S. (1980). *Mind in society. The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA : Harvard University Press.

Weisser, M. (2010). Dispositif didactique? Dispositif pédagogique ? Situations d'apprentissage! Dans M. Weisser (dir.), *Revue questions vives : recherches en éducation*, 4(13), (p. 291-303). France : Université Aix-Marseille. Récupéré de <https://questionsvives.revues.org/271>

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.

Wu, H. K., et 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.

Zbidi, L. H. (2010). *Rapport entre posture épistémologique et pratiques d'enseignement : influence des postures épistémologiques des enseignants de biologie sur leur élaboration de situations d'enseignement de la circulation du sang*. Sarrebruck, Allemagne : Éditions universitaires européennes.

APPENDICE A

FICHE DE LABORATOIRE SCIENTIFIQUE (voir le document annexé à l'essai)

L'effet de serre

APPENDICE B

SITUATION D'APPRENTISSAGE ET D'ÉVALUATION (voir le document annexé à l'essai)

Le confort au foyer