

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
RÉSUMÉ	xii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I.....	5
PROBLÉMATIQUE.....	5
1.1 La culture scientifique	7
1.2 La science : une activité de pensée	9
1.2.1 Les enfants et la science.....	10
1.2.2 Les enfants et le raisonnement scientifique.....	13
1.2.3 Une stratégie cognitive féconde : le raisonnement analogique	14
1.3 Le changement conceptuel	17
1.3.1 Le modèle de Pintrich	21
1.3.2 L'engagement cognitif, l'affect et les croyances épistémiques.....	22
1.4 Le contexte didactique.....	25
1.4.1 La cognition distribuée.....	25
1.4.2 L'exploration scientifique	25
1.4.3 La flottaison.....	26
1.5 Conclusion	28
Questions de recherche	30
CHAPITRE II	32

CADRE THÉORIQUE ET CONCEPTUEL.....	32
2.1 La cognition distribuée	33
2.2 Le changement conceptuel intentionnel.....	38
2.2.1 L'intentionnalité	46
2.2.2 De la théorie de l'esprit à l'épistémologie personnelle.....	50
2.2.3 Les croyances épistémiques	55
2.2.4 Les émotions cognitives.....	60
2.3 Le raisonnement	63
2.3.1 La logique mentale : définition et limites	65
2.3.2 Le point de vue psychologique.....	67
2.3.3 Le polymorphisme du raisonnement	68
2.3.4 Le raisonnement analogique.....	78
2.4 Conclusion.....	88
CHAPITRE III.....	91
Méthodologie.....	91
3.1 L'orientation épistémologique de la recherche	92
3.2 La cognition distribuée	95
3.3 L'observation.....	96
3.4 Le changement conceptuel.....	98
3.5 Les croyances épistémiques ou l'épistémologie personnelle	101
3.5.1 Le questionnaire	101
3.5.2 L'entrevue	105
3.5.3 La méthode de la réflexion parlée (<i>think-aloud</i>)	106
3.5.4 La stratégie multiméthodologique	107

3.6	Le raisonnement analogique.....	108
3.6.1	La catégorisation des analogies.....	109
3.7	L'opérationnalisation et l'instrumentation de la méthodologie retenue	112
3.7.1	L'échantillonnage	113
3.7.2	La séquence d'enseignement-apprentissage	115
3.7.3	Le questionnaire sur l'épistémologie personnelle	116
3.7.4	Les observations enregistrées et filmées.....	119
3.7.5	Le carnet de sciences	120
3.7.6	Les entretiens individuels.....	125
3.8	L'analyse des données	126
3.8.1	L'analyse des résultats du questionnaire.....	128
3.8.2	Les dessins du test <i>Dessine-moi un scientifique</i>	131
3.8.3	L'analyse de contenu	132
3.9	Conclusion.....	139
	CHAPITRE IV	141
	ANALYSE DES DONNÉES	141
4.1	L'épistémologie personnelle	142
4.1.1	Le questionnaire sur les croyances épistémiques	143
4.1.2	Les dessins du scientifique.....	150
4.2	Le raisonnement analogique.....	159
4.2.1	Les réponses des carnets scientifiques.....	160
4.2.2	Les raisonnements et le changement conceptuel.....	163
4.3	Les corrélations entre l'épistémologie personnelle et les types de raisonnement	171

4.4	Les données complémentaires	173
4.4.1	Les entretiens individuels.....	173
4.4.2	Les séquences vidéo	182
4.5	Conclusion.....	182
	CHAPITRE V	184
	DISCUSSION	184
5.1	Les questions de recherche	184
5.1.1	La première question de recherche.....	184
5.1.2	La deuxième question de recherche	188
5.1.3	La troisième question de recherche.....	191
5.2	L'épistémologie personnelle.....	194
5.3	Le changement conceptuel	195
5.4	Le raisonnement.....	197
5.5	La flottaison.....	198
	CONCLUSION	201
	APPENDICE A	212
	QUESTIONNAIRE SUR LES CROYANCES ÉPISTÉMIQUES (traduit et adapté de Conley <i>et al.</i> , 2004)	212
	APPENDICE B.....	214
	Consignes pour la passation du questionnaire individuel sur les croyances épistémiques destiné aux élèves de 2e et de 3e cycles du primaire.....	214
	APPENDICE C.....	215
	Canevas pour l'entretien individuel.....	215
	APPENDICE D	217
	Certificat d'éthique de la recherche.....	217

RÉFÉRENCES.....218

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1.1 Structure de la problématique de l'étude	29
2.1 Cadre théorique et conceptuel de l'étude.....	32
2.2 La théorie de l'esprit (Astington, 1993/2009)	51
2.3 Les formes de raisonnement (Sander, 2006)	69
2.4 Composantes du raisonnement analogique (Holyoak, 2005)	79
2.5 Le modèle comme mise en correspondance d'un registre explicatif et d'un registre empirique (Orange, 1997).....	82
4.1 Caractéristiques des scientifiques en pourcentage.....	152
4.2 Scientifique et médecine (1) (Adrien, 11 ans).....	154
4.3 Scientifique et médecine (2) (Léa, 10 ans)	154
4.4 Scientifique et concours (Alexia, 11 ans).....	154
4.5 La fin du monde (Laurie, 12 ans)	154
4.6 Il fait n'importe quoi (Mathis, 11 ans)	155
4.7 Explosion (Léna, 10 ans).....	155
4.8 Scientifique et son équipe (Macha, 11 ans).....	156
4.9 Scientifique professeur (Gabriel, 12 ans)	156
4.10 Un gamin scientifique (Loïc, 9 ans)	156
4.11 Pour la chercheuse (Sarah, 9 ans)	156
4.12 Potion magique (Olivier, 10 ans).....	157
4.13 Mélange toxique (Léonie, 10 ans)	157
4.14 Stéréotype du savant fou (Émile, 11 ans)	158
4.15 Scientifique et environnement (Alex, 10 ans)	159
4.16 Femme scientifique (Mélissa, 9 ans)	159

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
2.1 Niveaux de la compréhension épistémologique (Kuhn <i>et al.</i> , 2000).....	53
3.1 Phases du scénario de recherche et instrumentation.....	113
3.2 Groupes-classes qui ont participé à la recherche.....	114
3.3 Dimensions théoriques, descriptions et exemples d'items du questionnaire portant sur les croyances épistémiques en sciences.....	117
3.4 Cadre d'analyse de l'étude.....	127
3.5 Inférence du profil épistémique en fonction des dimensions	130
3.6 Indicateurs descriptifs du test <i>Dessine-moi un scientifique</i>	131
3.7 Codification des raisonnements.....	135
4.1 Moyenne des dimensions et écart-type ($N = 142$).....	143
4.2 Corrélations entre les quatre dimensions épistémiques	144
4.3 Occurrence des types de raisonnements	161
4.4 Corrélations entre les types de raisonnements.....	162
4.5 Catégorisation des causes exprimées lors de la situation #1	163
4.6 Catégorisation des causes exprimées lors de la situation #2	167
4.7 Corrélations entre les raisonnements et les dimensions épistémiques.....	172

RÉSUMÉ

Cette étude en didactique des sciences au primaire s'inscrit dans le domaine de recherche du changement conceptuel, lequel est issu en grande partie des constats au sujet de la persistance des conceptions initiales dites « erronées » des élèves (diSessa et al., 2004; Posner *et al.*, 1982; Vosniadou, 2008). Sachant que le raisonnement, sous ses multiples formes, joue un rôle crucial dans le changement conceptuel en sciences (Kuhn *et al.*, 1988; Peirce, 2002; Zimmerman, 2007) et que les connaissances initiales des élèves, plus ou moins organisées, constituent la base des changements conceptuels, cette recherche mise sur les compétences cognitives des élèves et sur la richesse de leurs raisonnements, plus précisément sur la « puissance cognitive » de leurs raisonnements analogiques (Nersessian, 1999, 2008b).

La tendance *chaude* (*warming trend*) de l'étude du changement conceptuel suggère de prendre en compte des composantes cognitives, épistémologiques et contextuelles. Appuyée par la théorie de l'intentionnalité (Searle, 1985), ainsi que des recherches qui portent sur l'épistémologie personnelle (Hofer et Pintrich, 1997; Kuhn, 2001; Schommer, 1990), cette étude a examiné l'apport des croyances épistémiques dans le processus de changement conceptuel. Au sein d'un environnement où l'investigation, l'argumentation et le raisonnement sont préconisés (Dewey, 1933), le phénomène complexe de la flottaison a été choisi afin de susciter l'émergence des raisonnements des élèves rencontrés.

Dans un contexte de classe entière où la cognition est *distribuée* (Pea, 1993; Salomon, 1993), l'observation de 142 élèves de la 3^e à la 6^e année lors de l'exploration du phénomène de la flottaison s'est faite selon une stratégie méthodologique multi-instrumentale : questionnaire portant sur les croyances épistémiques, carnet scientifique, entretiens individuels, enregistrements audio et vidéo. Cette étude *mixte* (qui allie des données quantitatives et qualitatives), s'inscrit dans un paradigme pragmatiste. Elle a permis de décrire et analyser les liens entre les raisonnements analogiques, les croyances épistémiques et l'engagement des élèves dans le processus de changement conceptuel au primaire lors de l'exploration du phénomène de la flottaison en apprentissage des sciences.

Notre étude a démontré que les enfants sont des *raisonneurs* compétents. Elle a mis en exergue la compétence des élèves à opérer des changements conceptuels à l'aide de raisonnements de formes variées dont les raisonnements causal, expérimental et analogique. Ces raisonnements multiples agissent de façon synergique lors du changement conceptuel. Le raisonnement analogique, surtout exprimé oralement, contribue à la mise en œuvre du changement conceptuel. Les référents analogiques représentent des balises cognitives dans la construction de la trame explicative. En plus de la valeur cognitive liée à la systématité ou potentiel d'appariement entre la source et la cible (Gentner, 1988), cette étude a confirmé la valeur esthétique des raisonnements analogiques (Jakobson et Wickman, 2007).

Cette étude a aussi démontré que les croyances épistémiques prennent une place importante dans l'esprit des élèves. Elle a fait la lumière sur leur vision de la nature de la science et de sa construction. Les élèves possèdent une vision relativement évoluée de la science. La prédominance de la dimension de la justification permet d'attribuer aux élèves une vision empiriste; le recours à la symbolisation et l'expressivité associe leur vision au métaphorisme (Royce, 1978). Les élèves sont critiques face à la science, ils font preuve de scepticisme, d'évaluativisme (*evaluativism*) et se détachent d'une épistémologie naïve et d'une vision purement rationaliste de la science.

Les liens entre les croyances épistémiques et l'utilisation de la stratégie du raisonnement analogique n'ont pu être mesurés de façon significative. La dimension de la certitude du savoir s'est démarquée dans les analyses corrélationnelles, mais pour toutes les formes de raisonnement. Une étude plus approfondie de la nature des relations entre l'épistémologie personnelle et le choix des stratégies cognitives s'avère une des avenues de recherche proposées.

Mots Clés : Sciences au primaire, Changement conceptuel, Épistémologie personnelle, Raisonnement analogique, Flottaison.

ABSTRACT

This study on the learning of science at elementary level is part in the area of research dealing with conceptual change, which comes largely from the findings about the persistence of the student's initial conceptions called "misconceptions" (diSessa *et al.*, 2004; Posner *et al.*, 1982; Vosniadou, 2008). Knowing that reasoning in its many forms plays a crucial role in conceptual change in science (Kuhn *et al.*, 1988; Peirce, 2002; Zimmerman, 2007) and that student's initial conceptions more or less organized, are seen as the basis of the conceptual changes. This research provides an update regarding the students' cognitive skills and the richness of their reasoning, specifically the "cognitive power" of their analogical reasoning (Nersessian, 1999, 2008b).

The warming trend in studies of conceptual change suggests to take into account cognitive, epistemological and contextual components. Supported by the theory of intentionality (Searle, 1985), as well as researches that address personal epistemology (Hofer and Pintrich, 1997; Kuhn, 2001; Schommer, 1990), this study examines the contribution of epistemic beliefs in the process of conceptual change. In an environment where the investigation, argument and reasoning are recommended (Dewey, 1933), the complex phenomenon of floatation was chosen to bring about the emergence of the reasoning of the students encountered.

In the context of entire classes where cognition is *distributed* (Pea, 1993; Solomon, 1993), the observation of 142 from third to sixth grade students during the exploration of the phenomenon of the floatation was achieved using a multi-instrument methodological strategy: questionnaire on epistemic beliefs, scientific notebooks, interviews, audio and video recordings. This *mixed* study (which combines quantitative and qualitative data) fits into a pragmatist paradigm. It has allowed to describe and to analyse the links between analogical reasoning, epistemic beliefs and elementary school students' commitment in the process of conceptual change during the exploration of the phenomenon of floatation in science learning.

Our study showed that the children are competent to do reasonings. It highlighted the students' competence to conceptual changes using analogical, experimental and causal reasonings. These multiple forms of reasoning acted synergistically in the

process of conceptual change. Analogical reasoning, especially when expressed orally, contributed to the implementation of the conceptual change. Analogical referents were cognitive benchmarks in the creation of explanatory frames. In addition to the cognitive value linked to the systematic or potential of pairing between the source and target (Gentner, 1988), this study has confirmed the aesthetic value of analogical reasoning (Jakobson and Wickman, 2007).

This study also showed that epistemic beliefs occupy an important place in the students' mind. It shed light on their nature of science vision and its construction. The students held a relatively sophisticated vision of science. The dimension of the justification and consequently their empiricist vision were predominant; the use of symbols and their expressiveness associated their vision with metaphorism (Royce, 1978). Students were critical about science, they demonstrated skepticism and evaluativism and they didn't express a naive epistemology as well as a purely rationalist view of science.

The links between the epistemic beliefs and the use of the strategy of analogical reasoning could not be measured in a meaningful way. The dimension of the certainty of knowledge was observed in correlational analyses and was present in all forms of reasoning. A more detailed study of the nature of the relationship between personal epistemology and the choice of cognitive strategies is one of the avenues of research proposed.

Key words: Elementary science learning, Conceptual change, Personal epistemology, Analogical reasoning, Floatation.

INTRODUCTION

En classe de sciences, l'enfant se questionne, il imagine une solution, il explique à sa façon un phénomène observé. L'enfant puise dans ses ressources personnelles afin de forger des réponses aux multiples questions qui l'assaillent et à celles proposées par l'enseignant. De plus, l'enfant n'est pas seul en classe de sciences. Il discute, il argumente, il ajoute à sa réflexion les idées des autres élèves. La cognition enfantine est complexe. Elle fait appel à un ensemble de représentations souvent cohérentes et de pensées subjectives empreintes d'émotions. Elle se construit collectivement.

Cette étude en didactique des sciences au primaire poursuit une réflexion née d'une pratique de plusieurs années en enseignement au primaire, dont une dizaine en tant qu'enseignante-spécialiste en sciences. Une recherche réalisée auparavant, intitulée *Étude du rôle de l'imaginaire dans les représentations préscolaires d'enfants du primaire* (Laliberté, 1995), portait sur la situation paradoxale qui met en jeu le foisonnement d'idées parfois farfelues des élèves et la tangente rationnelle qu'il faut faire prendre à ces idées originales. Cette étude s'inscrivait dans le courant de recherches sur les conceptions préalables des élèves; elle avait tracé un portrait des idées émises par les enfants au sujet de différents phénomènes naturels. La quantité et la diversité des manifestations de l'imaginaire décelées dans le vocabulaire et le raisonnement des enfants avaient révélé la prédominance de l'esprit imaginaire de leur pensée. La conciliation du rationnel et de l'imagination, la singulière alliance entre le scientisme et l'irrationalisme continuent donc à nous intéresser, non seulement en tant que pédagogues, mais aussi du point de vue épistémologique.

Dans la perspective actuelle, notre étude s'inscrit dans la tendance *chaude*¹ du changement conceptuel, c'est-à-dire qui prend en compte des facteurs d'intentionnalité, lesquels sont définis par des composantes affectives, épistémologiques et cognitives. Notre recherche vise à élucider le rôle du raisonnement analogique et des composantes épistémiques dans le processus de changement conceptuel. Elle mise sur le potentiel cognitif des élèves et propose le contexte d'investigation du phénomène de la flottaison afin de cerner la réflexion des élèves en action. Notre étude porte sur l'activité de pensée qui caractérise la science. Elle suggère d'être à l'écoute de la pensée divergente des enfants ainsi que de leur rapport au savoir.

Le premier chapitre situe la problématique de notre thèse dans le contexte actuel de l'enseignement-apprentissage des sciences au Québec et ailleurs dans le monde. Ce chapitre traite de la pertinence sociale de la culture scientifique de base et de la formation de l'esprit scientifique. Il inscrit notre recherche dans le courant actuel des études sur le changement conceptuel. Ce premier chapitre conduit le lecteur vers l'importance de mieux comprendre la cognition enfantine et de discerner la part de l'intentionnalité dans le changement conceptuel. Il présuppose que le raisonnement analogique, caractérisé par sa nature subjective, peut induire le changement conceptuel et propose d'investiguer ce potentiel dans le cadre de notre travail.

Le deuxième chapitre présente le cadre théorique et conceptuel de l'étude. Les fondements de la *cognition distribuée* forment la matrice didactique au sein de laquelle se retrouve le concept intégrateur qu'est le changement conceptuel qualifié d'intentionnel. La nature intentionnelle du changement conceptuel s'appuie sur la théorie de l'intentionnalité (Searle, 1985) ainsi que sur l'épistémologie personnelle formée par les croyances épistémiques et les émotions cognitives. Le concept de

¹ Traduction libre de « warming trend » (Mason, 2007).

raisonnement, et plus précisément celui de raisonnement analogique, complète la structure conceptuelle de l'étude. L'imbrication dynamique des éléments conceptuels confère une mouvance au cadre théorique de notre travail.

Le troisième chapitre décrit la méthodologie de la recherche. Il inscrit l'étude dans un paradigme pragmatiste (Tashakkori et Teddlie, 1998) basé sur une logique à la fois déductive et inductive et qui combine les méthodologies qualitatives et quantitatives. Le chapitre précise les caractéristiques interprétatives de l'étude et notre choix d'une opérationnalisation multiméthodologique. Compte tenu du fait que notre étude comporte trois pôles majeurs : le changement conceptuel, les croyances épistémiques et le raisonnement analogique, la méthodologie choisie et son opérationnalisation sont argumentées en fonction des approches méthodologiques utilisées dans ces trois domaines de recherche de la didactique des sciences. La description de l'échantillonnage, des outils et du cadre d'analyse des données complètent la teneur de ce chapitre.

La présentation et l'analyse des données font l'objet du quatrième chapitre. Des commentaires interprétatifs jonchent le parcours de cette section. L'assemblage et l'étayage des résultats provenant de sources variées conduisent vers les réponses aux questions initiales de l'étude qui se rapportent aux liens entre le raisonnement analogique, les croyances épistémiques et le changement conceptuel.

Le dernier chapitre, consacré à la discussion des résultats, présente les constats dégagés par les analyses qualitative et quantitative des données ainsi que les enjeux liés à notre démarche. La conclusion soulève quelques questions auxquelles des recherches ultérieures pourront répondre.

En somme, notre étude, menée auprès de jeunes élèves québécois du Centre-du-Québec, participe à la réflexion sur le changement conceptuel intentionnel, un domaine de recherche en pleine expansion, particulièrement en sciences au primaire.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

Selon de nombreuses études dont certaines faites au compte d'instances internationales telles l'UNESCO (2009) et l'OCDE (2006a, 2006b), la place qu'occupent les sciences et la technologie dans notre quotidien et dans la société est très importante, tant aux niveaux économique, environnemental et socioculturel.

Par conséquent, les connaissances techniques et scientifiques devraient faire partie de la culture de base de chacun, ce que Fourez et Larochelle (2003) nomment l'alphabétisation scientifico-technique. Pour que se fasse cette alphabétisation, l'école doit démocratiser la science et la rendre accessible à chacun et non pas produire uniquement une élite scientifique. Cette démocratisation de la science se dissocie d'une conception économiste et dogmatique de la science qui serait principalement au service des instances politiques et économiques. Selon Gingras (2006), la science est « une entreprise humaine à part entière qui n'est pas seulement l'apanage d'êtres exceptionnels en quelque sorte déshumanisés, mais est au contraire une activité accessible à tout esprit curieux »². Rocard (2007) renchérit par ces propos : « L'enseignement des sciences peut ainsi s'adresser à tout le monde, ce qui est d'une extrême importance dans une société de la connaissance où le fait d'avoir des connaissances scientifiques est un atout précieux, tant pour l'individu que pour la société en général » (p.13).

² Cette citation provient de l'article intitulé *Pourquoi parle-t-on de culture scientifique?* repéré à <http://www.sciencepresse.qc.ca/blogue/2006/12/21/pourquoi-parle-culture-scientifique>

Dans sa Déclaration sur la science et l'utilisation du savoir scientifique, la Conférence mondiale sur la science pour le XXI^e siècle, organisée par l'UNESCO et le Conseil international pour la science (1999), a proclamé ce qui suit :

Enseigner la science au sens large du terme, sans discrimination, à tous les niveaux et par tous les moyens appropriés, est une condition essentielle de la démocratie et du développement durable [...]. Il est plus que jamais nécessaire de développer l'acquisition des connaissances scientifiques de base, dans toutes les cultures et tous les secteurs de la société, ainsi que les capacités de raisonnement et les compétences pratiques, et de sensibiliser les populations aux valeurs éthiques afin d'améliorer leur participation à la prise de décisions concernant l'application des nouvelles connaissances.³

Or, l'enseignement des sciences subit une impasse. Le Conseil des sciences et de la technologie (2002), dans le cadre de l'enquête sur la culture scientifique et technique des québécois et des québécoises, conclut entre autres que « la démocratisation de la culture scientifique n'est pas encore une réalité [...] » (p. 10). Bégin (2007) critique la situation québécoise :

À l'école et dans la population règne une incompréhension de l'univers scientifique, reconnaissable à des indices comme le bas niveau de culture dans ce domaine, la vulnérabilité aux charlatans, la prévalence d'une attitude hostile aux sciences dans certains milieux ainsi que le peu d'intérêt des jeunes pour une carrière scientifique. Ces derniers ont une vision stéréotypée du secteur d'activité et de ses artisans, conviction que ces matières scolaires sont impénétrables. (p. 55)

Cette impasse ne date pas d'aujourd'hui : à preuves, les réformes américaines provoquées par l'incident Spoutnik⁴ (1957) et le passage de la comète de Halley⁵

³ Cet extrait est tiré de l'éditorial N° 208 du portail de l'UNESCO, section culture:

http://portal.unesco.org/culture/en/ev.php-URL_ID=5293&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html

⁴ La mise en orbite de Spoutnik par la Russie a provoqué la course de l'espace entre les Russes et les Américains.

⁵ L'Association américaine pour l'avancement des sciences (AAAS) a fondé le projet 2061 afin d'aider les Américains à développer leur culture scientifique, mathématique et technologique. Le Projet 2061 a commencé ses travaux en 1985 lors du dernier passage près de la Terre de la comète de Halley (qui a semé la peur) et dont le retour est prévu en 2061.

(1985); la publication par Désautels (1980) du livre intitulé *École + science = échec* et le discours du scientifique frère Marie-Victorin (1938) qui « ne se limite pas à dénoncer les déficiences de la culture canadienne-française (exaltation de la vulgarisation aux dépens de la science véritable, méconnaissance de la valeur de la science, peur de la science, mépris pratique de la science, etc.) [...] » (Frère Marie-Victorin, 1938; cité par Fournier et Maheu, 1975, p. 16). Ainsi, le manque de culture scientifique sévit encore, ici comme ailleurs, malgré l'évolution de la société, de la science et de la technologie.

Eu égard à la pertinence sociale de la science et aux défis liés à sa diffusion, différentes institutions tentent de développer et de renforcer la culture scientifique par l'éducation formelle et informelle. Par conséquent, afin de développer la culture scientifique, une réforme de l'enseignement des sciences a lieu dans de nombreuses parties du monde. La prochaine section présente quelques initiatives basées sur l'investigation scientifique. Par la suite, seront décrites quelques difficultés cognitives relevées par certains auteurs, et ce, dans le but de présenter l'approche de notre étude qui mise plutôt sur les capacités cognitives des élèves.

1.1 La culture scientifique

Beaucoup d'efforts sont faits dans chacune des provinces canadiennes afin d'améliorer les pratiques pédagogiques et développer des compétences scientifiques chez les jeunes élèves (Di Giuseppe, 2007). Ces compétences font appel à leur capacité d'analyser, de raisonner et de recourir à des stratégies efficaces dans leurs apprentissages (CMEC, 2004). En France, Charpak (1996), prix Nobel de physique en 1992, a instauré un mouvement de rénovation de l'enseignement des sciences axée sur la manipulation et l'investigation réflexive. Cette initiative nommée « La main à la pâte », inspirée de celle proposée par l'Association américaine de l'avancement des

sciences (1990, 1993, 1996), s'inscrit dans la foulée des réformes de l'enseignement des sciences qui privilégient le développement de la culture et de l'esprit scientifiques. Plus récemment, un groupe d'experts dirigé par Rocard (2007) a proposé un plan stratégique afin de renouveler l'enseignement des sciences en Europe et contrer la désaffection des élèves à l'égard de cette discipline. Une de leurs recommandations s'articule ainsi : « Renverser la pédagogie utilisée pour enseigner les sciences à l'école, en la faisant passer de méthodes essentiellement déductives à des méthodes basées sur l'investigation permet d'augmenter l'intérêt des jeunes pour les sciences » (p.3).

L'investigation⁶ en enseignement-apprentissage des sciences s'inscrit dans une approche inductive qui laisse place à l'observation, à l'expérimentation⁷ et à la construction par l'élève de ses propres connaissances sous la conduite du professeur. Cette stratégie qu'est l'investigation en enseignement-apprentissage des sciences désigne un processus intentionnel de diagnostic des problèmes, de critique des expériences réalisées, de distinction entre les alternatives possibles, de planification des recherches, de recherche d'hypothèses, de recherche d'informations, de construction de modèles, de débat avec des pairs et de formulation d'arguments cohérents (Linn, Davis et Bell, 2004).

Au Québec, le ministère de l'Éducation (MELS, 2006), dans le cadre du programme de science et technologie au primaire, insiste sur le développement de compétences disciplinaires et encourage l'utilisation par les élèves de stratégies d'exploration qui font appel aux habiletés cognitives et métacognitives propres à la démarche scientifique (émettre des hypothèses, réfléchir sur ses erreurs, imaginer des solutions,

⁶ Traduction libre de « inquiry » (AAAS, 1996)

⁷ Le lien étroit entre l'expérimentation et le raisonnement avait été souligné par Bachelard (1934/1968) : « Si elle [l'activité scientifique] expérimente, il faut raisonner; si elle raisonne, il faut expérimenter » (p. 9).

etc.). Selon le MELS, « [...] c'est à travers l'exploration de problématiques tirées de son environnement que l'élève sera graduellement amené à mobiliser les modes de raisonnement auxquels font appel l'activité scientifique [...] » (p. 144). Ces raisonnements correspondent à « induire, déduire, inférer, comparer et classier » (p. 161).

Ainsi, apprendre les sciences nécessite un environnement qui stimule le raisonnement, le questionnement et l'investigation. La présente étude sur l'apprentissage des sciences s'intéresse à cette activité de pensée qui caractérise la science.

1.2 La science : une activité de pensée

La culture scientifique englobe la compréhension des phénomènes naturels et scientifiques ainsi qu'une certaine démarche de pensée qui caractérise l'activité scientifique. Ce sont les attitudes générales (mettre en doute, s'étonner, s'interroger) que l'on pense ainsi favoriser. Pour Giordan (2007), la priorité n'est plus d'enseigner les sciences pour elles-mêmes, mais au travers des sciences et des techniques, d'introduire chez l'apprenant une « disponibilité, une ouverture sur les savoirs, une curiosité d'aller vers ce qui n'est pas évident ou familier »⁸. S'approprier des démarches de pensée prend alors une place prépondérante. Charpak, Léna et Quéré (2005) mentionnent que « la science nous apprend à penser bien autant qu'à connaître » (p. 43). Charpac (1996) valorise le rôle du raisonnement en sciences : « Le raisonnement scientifique offre un puissant moyen d'accroître les capacités de réflexion, d'argumentation et de jugement des enfants » (p.7).

⁸ Giordan A. (2007). *Faut-il supprimer les sciences à l'école?*
<http://educasciences.ning.com/profiles/blogs/bfautil-supprimer-les-sciences>

Ainsi, le raisonnement joue un rôle crucial dans le changement conceptuel en sciences puisqu'il mobilise un ensemble complexe d'habiletés cognitives et métacognitives telles que l'inférence, la formulation d'hypothèses, l'évaluation de l'évidence et l'autocontrôle des stratégies cognitives (Kuhn, Amsel et O'Loughlin, 1988). Le développement et la consolidation de telles habiletés requièrent une quantité considérable d'exercices et de pratiques (Zimmerman, 2007).

Les compétences scientifiques forment la pierre angulaire de la formation de l'esprit scientifique et leur développement préoccupe plusieurs chercheurs qui œuvrent dans différents domaines tels que la didactique des sciences, la psychologie et la philosophie. Les travaux de Piaget et de ses successeurs au sujet du développement de la pensée chez l'enfant, les réflexions épistémologiques de Bachelard et les recherches actuelles en psychologie cognitive et en neurosciences sont des exemples qui démontrent la pérennité de l'étude de la cognition en apprentissage des sciences. Le déploiement de telles initiatives justifie l'importance de faire la lumière sur l'activité de pensée en apprentissage des sciences et ce, principalement chez les enfants.

1.2.1 Les enfants et la science

L'importance d'initier les élèves à la pensée scientifique dès leur jeune âge a été discutée par de nombreux chercheurs. Quéré (1999) affirme que « l'objectif assigné à l'école primaire est d'ouvrir les enfants aux réalités du monde, de les habituer à raisonner et d'affermir ainsi leur esprit » (p.27). Genzling (1996) assure qu'il est important d'enseigner les sciences (physiques) à l'élémentaire pour plusieurs raisons :

[...] pour répondre aux questions spontanées des élèves, pour favoriser l'acquisition d'attitudes critiques (accepter de mettre en doute ses affirmations et celles des autres, accepter les confrontations de points de vue, affirmer ou contredire avec des arguments), pour favoriser le

développement de l'enfant et ses progrès sur le plan de la pensée, pour développer des compétences de représentation et de symbolisation et des conduites opératoires, et pour éviter de laisser s'installer des représentations (ou conceptions) difficiles à modifier plus tard. (p. 271-272)

Ce dernier point qu'est la persistance des conceptions dites « erronées⁹ » a initié les études sur le changement conceptuel chez plusieurs chercheurs (Buty et Cornuéjols, 2002; diSessa, 1988; Giordan, 2002; Posner, Strike, Hewson et Gertzog, 1982; Strike et Posner, 1992; Vosniadou, 2008). Ainsi, malgré les efforts faits pour améliorer l'éducation scientifique et développer les compétences scientifiques, plusieurs auteurs ont relevé la manifestation de certaines difficultés chez les jeunes élèves.

Selon Vosniadou (2008), « les jeunes élèves manifestent un manque de pensée critique, une fragmentation des connaissances et des conceptions erronées persistantes » (p. 4). Chi (2005) a constaté que des élèves de niveau secondaire possèdent encore des croyances robustes et consistantes. De plus, malgré l'enseignement scientifique, les élèves conservent leurs conceptions initiales et les associent parfois aux nouvelles informations reçues pour former un modèle mental synthétique (Vosniadou, 2007a). Les idées initiales, qu'elles soient fausses ou élaborées, sont stables, robustes et résistantes à l'instruction puisqu'elles sont ancrées dans une expérience quotidienne construite au fil des ans.

Des auteurs ont observé certaines manifestations des limites de l'expérience de la pensée logique chez les élèves. Pour Astolfi, Peterfalvi et Vérin (1998/2006), les élèves du primaire, lors des expérimentations, traitent une variable à la fois et n'ont pas le sens de la preuve. À ce sujet, Vosniadou (2003) rapporte que du point de vue des enseignants, les élèves ne savent pas comment tester une hypothèse; ils acceptent une explication sans en faire l'évidence; ils basent leur explication sur ce qu'ils voient;

⁹ Traduction libre de « misconceptions »; aussi nommées conceptions naïves, conceptions alternatives ou préconceptions.

ils ne ressentent pas le besoin de vérifier pourquoi les choses se produisent ainsi. Plusieurs chercheurs ont relevé chez les élèves une certaine confusion entre la théorie et l'évidence (Carey et Smith, 1993; Kuhn *et al.*, 1988; Smith, Maclin, Houghton et Hennessey, 2000); ils en concluent que leur vision de la science découlerait d'une épistémologie naïve. Smith *et al.* (2000) décrivent la difficulté des élèves : « En reconstituant les preuves observées et les théories proposées, ils [les élèves] avaient tendance à aligner les deux, plutôt que de reconnaître les différences qui se sont produites. [...] ils étaient généralement incapables d'indiquer quel modèle de preuves pourrait infirmer leurs théories¹⁰ » (p. 351). Kuhn (1962/1983) avait déjà relevé un sens de la preuve défaillant chez les élèves : « Mais les étudiants en science acceptent les théories à cause de l'autorité de leur professeur et des manuels et non à cause des preuves » (p. 118).

Bon nombre d'élèves manifestent un manque de confiance en leurs habiletés et effectuent une moindre utilisation de stratégies cognitives (CMEC, 2004). De plus, ils démontrent un manque d'engagement cognitif et d'investissement réel dans les tâches proposées. Ces derniers éléments relèvent de leur intentionnalité, c'est-à-dire de leurs croyances et de leurs désirs face à leurs apprentissages.

Malgré ces difficultés cognitives et celles liées à l'intentionnalité, tous les élèves possèdent un potentiel d'apprentissage. Leurs conceptions initiales, plus ou moins organisées, constituent la base des changements conceptuels. La présente recherche mise sur les compétences des élèves et sur la richesse de leurs raisonnements afin de contrer ces obstacles de l'apprentissage.

¹⁰ Traduction libre de : « In reconstructing their proposed theories and observed evidence, they tended to bring the two into alignment, rather than acknowledge the discrepancies that had occurred. [...] they were generally unable to state what pattern of evidence would disconfirm their theories » (p. 351).

1.2.2 Les enfants et le raisonnement scientifique

À l’instar de Huang (1931), cette étude vise à comprendre l’enfant qui apprend et à procéder à une description qui n’est pas normative. À l’aide d’une série d’expériences, ce chercheur avait démontré que l’enfant n’accepte pas une raison « magique » et qu’il cherche spontanément une explication.

Notre intention n’était pas de savoir si l’enfant est en mesure de donner la bonne réponse ou à quel âge il peut le faire, ou encore comment il peut l’aborder. En fait, dans la plupart des expériences, l’explication acceptée comme « correcte » était naturelle et atteinte à travers l’expérience quotidienne uniquement, sans sophistication académique spécifique. Nous étions intéressés, au contraire, à ce que l’enfant pense à propos de la matière. L’étude a été purement descriptive et non normative¹¹. (p.64)

Des études plus récentes sur les caractéristiques cognitives de l’enfant ont aussi démontré qu’il est un penseur actif capable d’investigation et d’argumentation (Brown, 1983; Flavell, 1992; Houdé, 2004/2009). Ce besoin naturel de comprendre chez les enfants atténue les contraintes épistémologiques relevées précédemment. La nature paradoxale et la complexité de la pensée justifient la pertinence de cette étude sur la cognition infantine. Les limites cognitives liées à *l’observation première* (Bachelard, 1934/1967) et relevées par les enseignants de sciences contrastent avec la curiosité naturelle et la capacité argumentative des jeunes élèves.

Pour Weil-Barais (2004), l’idée selon laquelle les enfants ou les adolescents ne réussissent pas en sciences parce qu’ils manquent de logique est « un lieu commun qu’une connaissance sommaire de l’œuvre de Piaget vient renforcer » (p. 193). En

¹¹ Traduction libre de «We have not set before ourselves the task of finding out whether or at what age the child was able to give the correct answer, or how well he could approach it. In fact, in most experiments the explanation accepted as "correct" was of such a technical nature that one can hardly be expected to arrive at it through every day experience alone, without specific academic sophistication. We were interested, rather, in what the child did think about the matter. The study was purely descriptive, and not normative ». (p.64)

effet, Piaget (1924/1978) admettait que « l'activité logique n'est pas toute l'intelligence » (p. 163). Selon lui, « les deux fonctions essentielles de l'intelligence, celle d'inventer des solutions et celles de les vérifier ne s'entraînent pas nécessairement l'une l'autre : la première participe de l'imagination, la seconde seule est proprement logique » (p. 163). La part imaginative de l'apprentissage en sciences est rapportée par Catellin (2004) : « La logique d'investigation est une logique exploratoire qui réserve une part importante à l'étonnement et à l'imagination dans la formation des idées » (p. 181).

Cette étude, axée sur la capacité d'inférence et d'invention des enfants, vise à dépasser les contraintes liées à l'égoïsme de la pensée enfantine, au réalisme intellectuel, au syncrétisme et à l'incompréhension des relations relevés par Piaget (1924/1978) ainsi que les obstacles épistémologiques tels l'animisme ou l'artificialisme décrits par Bachelard (1934/1967). Les tendances ludiques de la pensée enfantine enrichissent le processus d'apprentissage des enfants.

Entre 4 et 12 ans, c'est l'âge d'or de la curiosité, c'est « l'apprentissage en attendant de recevoir l'expérience »¹². À cet âge, les enfants sont « gourmands de sciences » (Charpak et *al.*, 2005, p. 59). Or, cette étude, menée à l'âge crucial du développement de la pensée scientifique, vise à examiner la dualité de la pensée subjective et objective manifestée chez les jeunes élèves lors de leurs raisonnements en classe de sciences.

1.2.3 Une stratégie cognitive féconde : le raisonnement analogique

Le raisonnement hypothético-déductif ne constitue pas l'unique stratégie cognitive en apprentissage des sciences. Le processus itératif qu'est le changement conceptuel se

¹² Traduction libre de « experience-expectant learning ».

caractérise par de multiples phases de travail inductif et déductif (Hewson, Beeth et Thorley, 1998). Deux dimensions cognitives se conjuguent : la pensée convergente, associée à la rigueur déductive et la pensée divergente, créative et productive (Astolfi et *al.*, 1998/2006) associée à l'induction. Pour le philosophe des sciences Bunge (1975), l'inférence analogique comporte une puissance inventive essentielle dans la découverte scientifique. Le raisonnement analogique nécessite de faire une abstraction, c'est-à-dire d'inventer une propriété nouvelle.

Le mode de raisonnement analogique consiste à utiliser des algorithmes présentant des ressemblances et des dissemblances entre deux situations différentes. Ce processus s'opère de deux façons : d'abord, l'utilisation spontanée de l'analogie est une pratique courante quand on aborde un domaine nouveau (Richard, 2004); elle s'établit spontanément et intuitivement sans recourir à un cadre explicatif pour en justifier la pertinence (Legendre, 2005). En second lieu, ce mode de raisonnement peut être provoqué par des contextes choisis tels que la modélisation (Martinand, 1992, 2002; Treagust, 1993), la résolution de problèmes isomorphes (Holyoak et Thagard, 1989) ou la schématisation (Clément, 2006; Gadgil, Nokes-Malach et Chi, 2012; Orange, 1997).

Le raisonnement analogique est un puissant instrument d'inférence pouvant servir à analyser un domaine nouveau, à élaborer des hypothèses probables. Il constitue une stratégie cognitive d'élaboration (Derry, 1989). Fréquent chez les enfants du primaire (Jakobson et Wickman, 2007; Laliberté, 1995), ce mode de raisonnement se veut une aide cognitive (Gentner, Holyoak, et Kokinov, 2001) et il recèle un fort potentiel didactique (Holyoak, 2005; Vosniadou, 2008). Il est une « forme puissante de raisonnement » (Nersessian, 1999, p. 20) et peut initier le changement conceptuel (Appleton, 2007; Duit, 1991; Gadgil *et al.*, 2012; Venville et Treagust, 1999; Vosniadou et Schommer, 1988).

Lors d'une étude en salle de classe de physique au secondaire, Duit (1991) a démontré que les analogies sont des agents de changement conceptuel parce qu'elles facilitent la compréhension en faisant des liens entre les concepts scientifiques et les expériences de la vie quotidienne des élèves et en aidant les élèves à visualiser puis à manipuler des idées abstraites. Il affirme que les analogies suscitent l'intérêt des élèves et par conséquent, peuvent les motiver. Dans une étude empirique sur l'impact affectif de l'analogie chez des élèves de 8^e année, Venville et Treagust (1999) concluent que l'analogie est un « motivator and a moral buster » (cités par Treagust et Duit, 2008, p. 315). Harrison (2006) souligne la dimension affective de l'analogie qui « captive et engage les élèves » (p. 61). De Vecchi et Giordan (2002), quant à eux, affirment que les analogies et les métaphores sont des outils et des ressources qui aident l'élève à penser : « Les symboles, les schémas, les modèles facilitent la structuration du savoir et sa manipulation » (p. 24).

Selon Blanchette et Dunbar (2000), il serait plus aisé d'analyser et de comprendre le raisonnement analogique dans un paradigme de production naturelle d'analogies que dans un contexte de laboratoire où les sujets effectuent des tests. Ainsi, notre recherche ne vise pas à analyser le développement cognitif des enfants par des tests ou des résolutions de problèmes comme l'ont déjà fait plusieurs chercheurs (Carey, 1985; Goswami, 1992) et ne veut pas non plus vérifier la compréhension par les élèves de diverses analogies proposées par le professeur (Mason, 1994; Venville et Treagust, 1999). Ce sont les raisonnements spontanés des élèves qui font l'objet de la présente étude. Notre recherche présuppose que le raisonnement analogique recèle un potentiel indéniable pour induire le changement conceptuel en sciences.

Le changement conceptuel est maintenant vu par plusieurs chercheurs comme le but premier de l'enseignement des sciences (De Vecchi, 2006; diSessa, Gillespie et Esterly, 2004; Potvin, Mercier, Charland et Riopel, 2012; Toussaint, 2002;

Vosniadou, 2008). Les études sur le changement conceptuel visent à élucider ce processus complexe. La prochaine section en présente quelques éléments.

1.3 Le changement conceptuel

L'apprentissage des sciences ne désigne pas la simple mémorisation de faits. Les élèves doivent apprendre comment restructurer leurs théories naïves et intuitives personnelles basées sur l'expérience quotidienne et la culture profane. En d'autres mots, ils doivent effectuer un « changement conceptuel profond » (Vosniadou, 2007a, p.47).

La problématique du changement conceptuel s'inscrit dans une perspective constructiviste du développement des connaissances. La prise en compte des connaissances antérieures, d'abord nommées « misconceptions » ou conceptions dites « erronées », provient des études d'Ausubel (1968) au sujet des points d'ancrage et de Piaget (1937/1963, 1975) au sujet du développement cognitif de l'enfant et de l'adaptation de celui-ci à son environnement.

Depuis les années 1970, les chercheurs en didactique des sciences ont adapté les résultats des études cliniciennes de Piaget au monde scolaire. Deux visions se sont développées. La première, axée sur la rupture épistémologique, s'inspire des obstacles épistémologiques de Bachelard (1934/1967) ou encore, d'un point de vue historique, de la révolution scientifique définie par Kuhn (1962/1983). La perspective de la rupture a conduit à l'idée du conflit cognitif générateur de déstabilisation cognitive, idée fort prisée par de nombreux didacticiens en sciences (Champagne, Gunstone et Klopfer, 1985; Hewson, 1982) mais peu expérimentée, et celle du conflit socio-cognitif (Bednarz et Garnier 1989; De Vecchi et Giordan, 2002; Joshua et Dupin, 1989, 1999). Cependant, la notion de conflit cognitif ou sociocognitif n'est

pas si efficiente en salle de classe et nécessite, entre autres, l'aptitude des élèves à reconnaître le conflit et l'habileté de l'enseignant à le mettre en évidence.

La seconde approche, quant à elle, mise sur le développement des idées et leur évolution (diSessa *et al.*, 2004; Lemeignan et Weil-Barais, 1993; Smith, diSessa, et Roschelle, 1993). Il s'agit d'une perspective de continuité basée sur les liens entre les connaissances intuitives et les connaissances reconnues par la communauté scientifique. Cette approche s'intéresse au processus de raisonnement sous-jacent à l'élaboration de concepts.

Dans le cadre de cette recherche, le raisonnement analogique est proposé comme outil de changement conceptuel. Par conséquent, la construction mentale d'un modèle scientifique se fera à partir de relations entre des concepts connus et d'autres à construire, ce qui définit le changement conceptuel comme étant un processus évolutif.

Que ce soit dans une perspective de rupture épistémologique ou dans celle de continuité, le changement conceptuel désigne, pour nous, le processus par lequel la conception scientifique primitive ou naïve d'un sujet évolue vers une conception scientifique plus conforme au savoir reconnu ou vers une explication de plus en plus cohérente. Il s'agit donc, selon la plupart des auteurs, d'une restructuration des représentations initiales. Vosniadou et Ionides (1998) définissent le changement conceptuel « comme un processus graduel durant lequel les structures conceptuelles initiales basées sur les interprétations enfantines des expériences quotidiennes sont continuellement enrichies et restructurées » (p. 25). Le domaine d'étude du changement conceptuel se déploie selon trois tendances, tel que proposé par Treagust et Duit (2008) : la perspective cognitive (ou froide), la perspective ontologique et la perspective socio-affective (chaude).

La vision « froide » du changement conceptuel peut s'illustrer par le modèle de Posner *et al.* (1982). Ces chercheurs ont porté un regard purement rationnel et cognitif sur l'apprentissage des sciences en comparant la position des élèves à celle des scientifiques. Selon eux, le changement conceptuel est une décision rationnelle. Ils ont proposé quatre conditions favorables au processus de changement conceptuel afin de briser la résistance des élèves à modifier leurs conceptions : l'insatisfaction face aux conceptions retenues, la compréhensibilité, la plausibilité et la richesse de la nouvelle conception.

Des études plus récentes au sujet de l'évolution des conceptions naïves ont mis l'accent sur l'architecture cognitive¹³ (diSessa *et al.*, 2004; Vosniadou, 2007a). Ces recherches se différencient entre elles par la description de la structure des représentations initiales et par conséquent, du processus comme tel. En effet, selon diSessa *et al.* (2004), les conceptions initiales erronées seraient fragmentées telles des petites bribes d'informations intuitives et désorganisées, locales, contextualisées et basées sur des observations phénoménologiques primaires, « phenomenological primitives » ou *p-prims*.

D'autres chercheurs, au contraire, qualifient les représentations de cohérentes, en nombre limité et caractérisables » et affirment que le changement conceptuel se produit graduellement en diverses étapes en partant de la conception initiale, en passant par des conceptions périphériques pour évoluer vers la conception scientifique. Les informations scientifiques s'ajoutent et s'accommodent graduellement à l'explication initiale. Il s'agit ici d'enrichissement et de révision, d'une synthèse des informations et de la réorganisation des informations (Vosniadou et Brewer, 1994).

¹³ Le mémoire de M.-N. Bêty (2009) et le chapitre II de la thèse doctorale de M. Bélanger (2008) présentent de façon précise différents modèles de changement conceptuel.

Au cœur de la perspective ontologique, se retrouvent les propositions de Chi (2008) qui considère le changement conceptuel comme étant un processus de catégorisation ontologique des concepts. Les élèves restructurent leurs connaissances antérieures en les classant dans trois grandes classes ontologiques, soit les entités (objets/substances), les processus (événements/ systèmes dynamiques complexes) et les états mentaux (les états émotionnels/ les états cognitifs). Des critiques au sujet de la sélection des catégories fondamentales de classification et de l'applicabilité restreinte au cas du savoir scientifique et non aux savoirs quotidiens et scolaires affaiblissent cette approche (Treagust et Duit, 2008).

La tendance chaude de l'étude du changement conceptuel est née des critiques du courant dit rationnel et froid des modèles précédents. Les chercheurs de ce courant analysent les composantes affectives (Gregoire, 2003), contextuelles et motivationnelles (Dole et Sinatra, 1998) ainsi que l'intentionnalité des apprenants (Sinatra, 2005; Sinatra et Pintrich, 2003). Les tenants de cette approche arguent que les élèves diffèrent de la communauté scientifique et que les facteurs personnels, motivationnels, sociaux et historiques influencent leurs apprentissages. Le maillage des facteurs rationnels et cognitifs (*cold*) et des facteurs affectifs, motivationnels et contextuels (*warm*) définit cette tendance chaude (Mason, 2007).

Plusieurs de ces études s'inscrivent dans un cadre psychopédagogique. Pintrich, Marx et Boyle (1993) ont été les pionniers de la tendance chaude en intégrant les recherches sur la motivation au processus de changement conceptuel. Selon eux, quatre construits motivationnels (buts, valeurs personnelles, sentiment d'efficacité personnelle, sentiment de contrôle¹⁴) agiraient comme « médiateurs potentiels sur le processus de changement conceptuel intentionnel » (p. 167). Par la suite, Pintrich (2000) a intégré des composantes cognitives et contextuelles au modèle initial. Ce

¹⁴ Traduction libre de « goals, values, self-efficacy, and control change ».

nouveau cadre d'analyse du changement conceptuel englobe les multiples composantes de la didactique des sciences, laquelle se situe au carrefour de nombreuses contraintes : les connaissances ou contenus à enseigner, le rapport au savoir des élèves, le développement cognitif des sujets, le contexte scolaire, les interactions avec l'enseignant et avec les élèves (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 1997/2008). Le modèle de Pintrich a inspiré l'édification de la problématique de notre étude. Ses principaux éléments sont présentés dans la prochaine section.

1.3.1 Le modèle de Pintrich

Dans le modèle du changement conceptuel intentionnel proposé par Pintrich (1994, 2000, 2003), trois types d'éléments interagissent de façon bidirectionnelle : 1- les éléments motivationnels qualifiés de construits multifactoriels (Linnenbrink et Pintrich, 2002); 2- les éléments cognitifs telles les stratégies d'autorégulation, les stratégies d'apprentissage et l'activation des connaissances antérieures, et 3- les éléments contextuels qui se rapportent à la salle de classe, tels que les caractéristiques de la tâche, la perception de la tâche et du contexte, les objectifs, le type de travail, la méthode d'enseignement, l'attitude de l'enseignant et les interactions enseignants-élèves.

Le questionnaire qui opérationnalise la mesure de ces multiples concepts (*Motivated Strategies for Learning Questionnaire, MLSQ*, 1993) comporte quelques failles. Sinatra et Pintrich (2003) soulignent le fait que le contrôle métacognitif et l'autorégulation sont difficiles à exprimer chez les jeunes enfants. De plus, la difficulté de mesurer le sentiment d'efficacité personnelle chez les jeunes élèves avait déjà été notée par Schunk (1991). Dans la même optique, Piaget (1924/1978) avait

relevé les difficultés d'introspection et « la faible prise de conscience dont témoigne l'enfant au cours de ses raisonnements » (p.170).

Le cadre interactif constitué par le modèle psychopédagogique de Pintrich gagnerait à être amélioré en raison, d'une part, de ses limites opérationnelles et d'autre part, du fait que le changement conceptuel n'est pas nécessairement lié à la conscience. À ce propos, George (1985) insistera sur le fait que « le terme cognitif désigne une activité mentale qui fait appel à des représentations, celles-ci pouvant être conscientes ou inconscientes » (cité par Delignières, 1991, p.31). Camus (1989) poursuit dans la même logique : « [...] cognitif ne signifie pas conscient, il existe des représentations cognitives inconscientes [...] l'automatisme acquis est l'objet d'une surveillance cognitive permettant des ajustements fins qui pour être plastiques n'en sont pas forcément conscients. Ici encore conscience et cognitif ne se superposent pas » (cité par Delignières, 1991, p.31).

Ainsi, au lieu de faire l'analyse d'éléments psychopédagogiques liés à la motivation et à la métacognition, la composante chaude décrite par Pintrich (1994, 2000, 2003) pourrait être considérée selon l'angle philosophique de l'intentionnalité, étant donné le rôle crucial de l'épistémologie personnelle dans l'engagement cognitif.

1.3.2 L'engagement cognitif, l'affect et les croyances épistémiques

En effet, l'engagement cognitif des élèves dépend en grande partie de leurs croyances épistémiques, c'est-à-dire de leurs « pensées, prémisses ou assertions personnelles au sujet des objets ou phénomènes du monde matériel ou mental » (Hofer et Pintrich, 1997, p. 112). Les croyances épistémiques mettent en jeu de façon implicite les buts personnels de l'apprenant (Hofer et Pintrich, 1997). Ce système de croyances coordonné en théories personnelles se rapporte à la nature de la connaissance et à

l'acte de connaître (Hofer et Pintrich, 1997). Selon Kuhn (2001), les croyances épistémiques influencent la disposition à s'engager intellectuellement dans les tâches d'apprentissage. Schommer (1990) souligne que celles-ci jouent un rôle dans le choix des stratégies cognitives. Les croyances épistémiques sont hautement subjectives, comportent une forte composante émotionnelle et découlent de l'expérience personnelle, contrairement au « savoir » qui est empirique, rationnel et structuré graduellement (Southerland, Sinatra et Matthews, 2001).

Crahay et Fagnant (2007) font état des recherches anglo-saxonnes qui portent sur l'épistémologie personnelle (Hofer et Pintrich, 1997; Kuhn, 2001; Schommer, 1990) et le jugement réflexif (King et Kitchener, 1994). Ces recherches se réalisent aux niveaux du secondaire et préuniversitaire. Les fondements de ces études convergent vers une classification basée sur le rapport au savoir et à son acquisition, et qui se positionne sur un continuum. Par exemple, selon Kuhn (2001), le fait de croire que le savoir est absolu et immuable correspond à l'*absolutisme* ou le dualisme; le *multiplisme* reconnaît l'existence de divers points de vue; l'*évaluativisme* perçoit le savoir comme devant être justifié. Pour Chandler, Hallett et Sokol (2002), le *réalisme naïf* se manifesterait chez les élèves du début du primaire.

Dans une étude de cas avec une étudiante universitaire de première année, DiSessa, Elby et Hammer (2003) rapportent que l'épistémologie personnelle dépend du contexte et s'exprime de multiples manières.

Les grilles d'analyse construites par des auteurs tels que King et Kitchener (1994) et Kuhn (2001) offrent des indicateurs qui catégorisent les croyances épistémiques sous-jacentes du discours des élèves. Il est donc possible d'analyser les réponses des élèves après des entretiens semi-dirigés (Smith *et al.*, 2000) ou encore d'inférer de telles croyances tacites à partir de réponses exprimées par les élèves lors de résolution de

problèmes *flous* ou lors de questions sur des sujets controversés (Rowell et Dawson, 1983; Toussaint et Lavergne, 2005). Ces études ont été menées aux niveaux du secondaire et préuniversitaire.

Très peu de ces études ont analysé l'influence de l'épistémologie personnelle dans le processus de changement conceptuel en apprentissage des sciences chez les jeunes du primaire. Plusieurs auteurs concluent qu'il y a un grand besoin de recherches sur l'épistémologie personnelle chez les jeunes du primaire afin de faire le pont avec la théorie de l'esprit étudiée chez les tout-petits et les études chez les élèves du secondaire et du préuniversitaire (Bendixen et Feucht, 2010; Burr et Hofer, 2002; Carey, Evans, Honda, Jay et Unger, 1989; Conley, Pintrich, Vekiri et Harrison, 2004; Kittleson, 2011; Mason, 2003). De plus, la neuroscience¹⁵ admet que l'émotionnel et l'affectif sont un élément déterminant de la maîtrise cognitive, et selon Charpak *et al.* (2005), « peut-être même le plus déterminant à cet âge » (p. 69).

L'idée de concilier les composantes cognitives (définies par le raisonnement analogique), affectives et épistémologiques du changement conceptuel constitue la principale particularité de notre étude du changement conceptuel intentionnel.

Le cadre didactique de l'enseignement des sciences comporte aussi des composantes contextuelles. Selon Pintrich (2000), les éléments contextuels dans lesquels les élèves apprennent influent aussi sur leur engagement cognitif.

¹⁵ Les régions du cerveau englobées dans le système limbique et parfois nommées cerveau émotionnel ont des connexions avec le cortex frontal riche en neurones et siège de la pensée (Damasio, 2006).

1.4 Le contexte didactique

Le contexte didactique influence l'engagement dans le changement conceptuel ainsi que le développement de l'épistémologie personnelle (Kittleson, 2011). Trois éléments contextuels sont considérés dans l'articulation de la problématique de notre étude : la cognition distribuée, la stratégie didactique qu'est l'exploration scientifique et la thématique conceptuelle du phénomène de la flottaison.

1.4.1 La cognition distribuée

La structure dialogique de la classe du primaire offre un environnement interactif où la cognition est *distribuée* (Salomon, 1993), *effectuée* (Brassac, 2001) et où l'intelligence est *distribuée* (Pea, 1993). L'espace de travail cognitif est réparti entre plusieurs individus et se situe dans un environnement physique, à un moment précis. L'individu est un système complexe qui pense, qui apprend et qui interagit avec son environnement. Il utilise des outils didactiques qui sous-tendent la construction de la connaissance. Dans une salle de classe, l'interaction entre les pairs, le matériel, le contexte culturel s'ajoutent aux ressources personnelles de l'élève. L'enfant devient un *individu-plus*, une personne dans un environnement social et physique (Perkins, 1995). En contexte d'enseignement-apprentissage des sciences, le choix de la stratégie didactique peut influencer sur la distribution de la cognition.

1.4.2 L'exploration scientifique

Pour Toussaint, Lavigne, Laliberté, Des Lierres et Khanh-Thanh (2001), l'exploration est le pivot de la démarche en sciences et doit conduire les élèves à observer, à se poser des questions et à construire des explications. Dans ce contexte d'investigation-structuration (Astolfi et Develay, 1989/1998), le rôle du système d'enseignement consiste à fournir des environnements suffisamment riches pour stimuler l'activité

scientifique des élèves (Joshua et Dupin, 1999) et les conduire à « une pensée structurée » (Astolfi *et al.*, 1998/2006, p. 109). Selon Dewey (1933), l'expérimentation implique toujours l'action (*doing*) et la transformation des expériences (*undergoing*), c'est-à-dire l'apprentissage. Dans le cadre de notre étude, les élèves ont fait une exploration libre afin de relever leurs réflexions sans les influencer. Lors de l'exploration, les discussions entre pairs et le matériel scientifique s'ajoutent aux ressources personnelles des élèves et stimulent leurs raisonnements.

Ces raisonnements, que l'exploration d'un phénomène scientifique fait naître, se situent dans un contexte conceptuel particulier, celui de la flottaison des corps.

1.4.3 La flottaison

La complexité conceptuelle du phénomène de la flottaison génère chez les jeunes élèves une activité de pensée riche en raisonnements puisqu'il englobe plusieurs concepts scientifiques tels que la pression, la masse, le volume, la densité, les fluides. Ces savoirs essentiels, prescrits dans le curriculum québécois de science et technologie (MELS, 2006), stimulent les questionnements et les observations chez les jeunes élèves. Toutefois, l'étude de l'hydrostatique¹⁶ demeure un défi cognitif de grande taille qui exige un investissement cognitif important chez les élèves du primaire afin qu'ils accomplissent des changements conceptuels profonds et significatifs.

Plusieurs didacticiens des sciences se sont intéressés à cette question qu'est la compréhension par les jeunes élèves du phénomène abstrait de la flottaison. Leurs études sont axées principalement sur la compréhension de la poussée d'Archimède (Biddulph et Osborne, 1984; Hardy, Jonen, Möller et Stern, 2006; Joung, 2009;

¹⁶ La section 3.6.5.1 explicite le phénomène de l'hydrostatique et le principe d'Archimède.

Michaud, 1970). Plusieurs de ces chercheurs ont constaté les limites cognitives des élèves; ces derniers considèrent une seule dimension (p. ex., la masse, la forme de l'objet ou la présence de l'air) et omettent de mettre en relation le poids de l'objet et celui du fluide déplacé. À ce propos, Piaget (1924/1978) précise que la comparaison et la relation n'intéressent pas les enfants avant 8-9 ans et que c'est la perception immédiate qui est prise pour mesure. Il rapporte l'unicité du point de vue des enfants : « Le bois flotte sur l'eau parce qu'il est plus léger (absolument), et non pas parce qu'il est *plus léger que* l'eau » (p.176). Selon Inhelder et Piaget (1970), le raisonnement des jeunes au sujet de la flottaison des corps est parsemé de contradictions et leur explication constitue une « source de difficultés » (p. 31). Par ailleurs, l'*habitude interprétative*¹⁷ définie par la relation suivante : « plus un objet est lourd, plus il aura tendance à couler » a déjà été relevée par Stavy et Tirosh (2000; cités par Potvin et Riopel, 2006).

Selon Nicolle (2006), la flottaison serait un « véritable morceau d'anthologie pédagogique » (p. 110). Bachelard (1934/1967) avait détecté les enjeux cognitifs de l'étude de la flottaison :

L'équilibre des corps flottants fait l'objet d'une intuition familière qui est un tissu d'erreurs. D'une manière plus ou moins nette, on attribue une activité au corps qui flotte, mieux au corps qui nage. Si l'on essaie avec la main d'enfoncer un morceau de bois dans l'eau, il résiste. On n'attribue pas facilement la résistance à l'eau. Il est dès lors assez difficile de faire comprendre le principe d'Archimède dans son étonnante simplicité mathématique si on n'a pas d'abord critiqué et désorganisé le complexe impur des intuitions premières. En particulier sans cette psychanalyse des erreurs initiales, on ne fera jamais comprendre que le corps qui émerge et le corps complètement émergé obéissent à la même loi. (p. 22)

¹⁷ Stavy et Tirosh (2000) avaient identifié la règle intuitive « more A ; more B » : plus l'agent (A) est intense, plus le résultat (Rt) sera lui aussi important (cités par Potvin et Riopel, 2006).

Son regard critique reflète sa conception de l'obstacle épistémologique qui désigne la résistance au développement de la connaissance, interne à l'acte de connaître. Certes, le fait de généraliser à partir de ce qui est observé constitue une entrave à la compréhension profonde du phénomène scientifique. Cependant, les raisonnements générés par l'exploration du phénomène complexe de la flottaison fournissent le matériel cognitif qui permet d'analyser le processus de changement conceptuel et les stratégies cognitives utilisées pour faire évoluer les représentations initiales (que Bachelard nomme erreurs initiales).

Les études sur la flottaison recherchent la justesse du raisonnement des enfants. Le critère normatif prédomine. Or, comme il a été mentionné dans ce chapitre, le but de notre étude est d'élucider le processus de changement conceptuel effectué par les élèves, plus particulièrement le rôle des inférences analogiques et des croyances épistémiques qu'ils manifesteront pendant ce processus.

1.5 Conclusion

Le fait de fusionner les composantes didactiques, épistémologiques et cognitives du changement conceptuel apporte un regard nouveau à ce domaine de recherche. De plus, certains écueils scientifiques peuvent être comblés par notre étude.

D'abord, les études qui portent sur le raisonnement analogique ont permis de préciser le fonctionnement de ce mode de raisonnement (Gentner, 1983; Sternberg, 1977) et certaines d'entre elles ont été conduites auprès d'enfants dans des contextes de laboratoire (Carey, 1985; Goswami, 1992). Cependant, peu d'études se sont déroulées en contexte de salle de classe entière et, à notre connaissance, aucune n'intègre l'apport du raisonnement analogique dans le processus de changement conceptuel ainsi que ses relations avec les croyances épistémiques. Ces études ne prennent pas en

compte le rôle de l'épistémologie personnelle et s'inscrivent dans une vision froide de la cognition.

En second lieu, des carences scientifiques existent dans le domaine d'étude de l'épistémologie personnelle chez les élèves du primaire. En effet, les principales études qui portent sur les croyances épistémiques des élèves et leur jugement réflexif ont été conduites aux niveaux du secondaire et du préuniversitaire. Pourtant, les jeunes élèves possèdent aussi leur propre vision de l'apprentissage et du savoir. Leurs théories personnelles subjectives et teintées par leurs valeurs et leur affect interviennent aussi dans leurs apprentissages.

L'évolution des conceptions initiales constitue le leitmotiv de la didactique des sciences et du développement de la culture scientifique. Notre étude, inscrite dans la tendance chaude du changement conceptuel, apporte une humble contribution à ce domaine de recherche de la didactique des sciences. Le schéma suivant présente la structure de la problématique de l'étude :

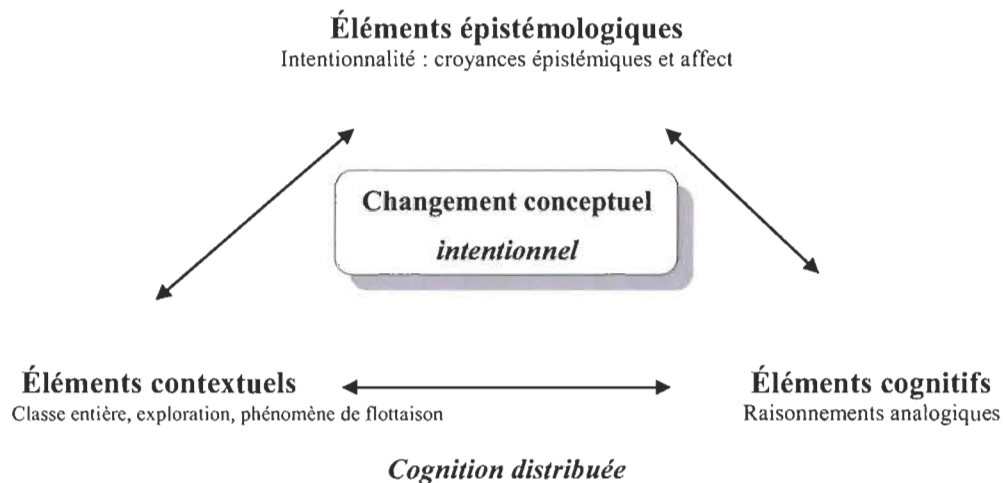


Figure 1.1 Structure de la problématique de l'étude

Le changement conceptuel intentionnel comporte trois dimensions qui interagissent de façon bidirectionnelle dans un cadre de cognition distribuée : 1- les éléments cognitifs dont les raisonnements analogiques, 2- les éléments épistémologiques définis par l'intentionnalité (croyances épistémiques et affect) et 3- les éléments contextuels constitués de la classe entière et de l'exploration du phénomène de la flottaison.

Ce qui distingue la structure de la problématique de notre étude et le modèle psychopédagogique de changement conceptuel proposé par Pintrich (1994, 2000, 2003) se situe principalement dans l'axe supérieur qui est constitué des éléments épistémologiques. Au lieu des facteurs motivationnels et métacognitifs difficiles à mesurer chez les jeunes élèves (Schunk, 1991; Sinatra et Pintrich, 2003), tels que le sentiment d'efficacité personnelle, les buts personnels, l'évaluation de la tâche, et l'autocontrôle, nous considérons l'intentionnalité sous l'angle philosophique, c'est-à-dire par la prise en compte des croyances épistémiques et de l'affect qui est inhérent à ces croyances.

Considérant les fondements de l'enseignement-apprentissage des sciences, les écueils scientifiques des études inscrites dans la tendance chaude du changement conceptuel, les défis cognitifs chez les élèves du primaire, ainsi que le potentiel médiateur du raisonnement analogique et des croyances épistémiques sur le changement conceptuel, voici les questions qui découlent de la problématique de notre étude :

QUESTIONS DE RECHERCHE

Les questions de notre recherche s'articulent ainsi :

1. Comment les raisonnements analogiques effectués par des élèves du primaire lors de l'exploration du phénomène de la flottaison influencent-ils les changements conceptuels ?
2. Quels sont les liens entre les croyances épistémiques d'élèves du primaire et leur engagement dans les changements conceptuels en apprentissage des sciences?
3. Quels sont les liens entre les croyances épistémiques d'élèves du primaire et leur utilisation de la stratégie du raisonnement analogique lors de l'exploration du phénomène de la flottaison?

Le changement conceptuel intentionnel constitue le concept intégrateur de notre étude. Il supporte la trame conceptuelle de la démarche de recherche didactique qui s'inscrit dans le paradigme de la cognition distribuée. Les concepts sous-jacents de notre étude sont le raisonnement analogique et les croyances épistémiques qui correspondent à l'épistémologie personnelle. Le prochain chapitre présente le cadre théorique et conceptuel de notre étude.

CHAPITRE II

CADRE THÉORIQUE ET CONCEPTUEL

Le chapitre II présente le cadre théorique et conceptuel de l'étude. En premier lieu, seront décrits les fondements de la *cognition distribuée* sur lesquels s'appuie le cadre didactique de notre étude.

Au sein de ce cadre didactique, se retrouve le concept intégrateur qu'est le changement conceptuel qualifié ici d'intentionnel. Eu égard à la nature intentionnelle qui caractérise le changement conceptuel, les concepts suivants sont examinés : l'intentionnalité, ainsi que l'épistémologie personnelle formée par les croyances épistémiques et les émotions cognitives. Le concept de raisonnement, et plus précisément ceux de raisonnement scientifique et de raisonnement analogique, complètent la structure conceptuelle de l'étude. La figure 2.1 présente l'agencement des éléments conceptuels et leur imbrication dynamique.

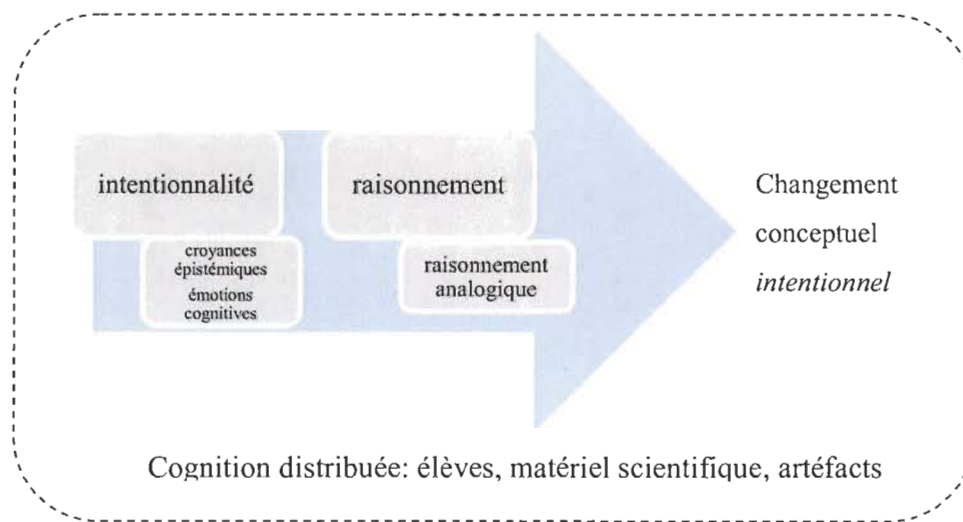


Figure 2.1 Cadre théorique et conceptuel de l'étude

2.1 La cognition distribuée

La salle de classe constitue un milieu d'apprentissage complexe où de multiples interactions se déroulent, certaines perceptibles dans le milieu physique, d'autres moins évidentes étant donné la poursuite de ces interactions hors de cette enceinte. Cette étude de la cognition se situe dans le cadre d'activités scientifiques qui s'effectuent dans un contexte culturel où les interactions entre les pairs et le matériel s'ajoutent aux ressources personnelles de l'élève. Ainsi, les mécanismes cognitifs individuels se combinent avec les éléments culturels, les outils et les artefacts (objets matériels fabriqués) présents dans le contexte d'apprentissage.

Les fondements de la cognition distribuée prennent leur source dans le courant pragmatiste hérité de Charles S. Peirce (1839-1914) et de William James (1842-1910). Le pragmaticisme s'écarte du pragmatisme grâce à deux avancées majeures de la réflexion de Peirce : la conception ternaire du signe, d'une part, et l'introduction de l'abduction dans le raisonnement scientifique d'autre part. Selon le pragmatisme de l'utilitarisme, nous construisons des signes et des représentations en fonction du bien commun; le pragmaticisme de Peirce introduit un cadre transcendantal qui justifie que « nous sommes inséparables de notre activité sur notre environnement qui nous transforme autant que lui » (Moreau, Lestelin et Beauchesne, 2005, p. 181).

Les précurseurs de ce domaine se sont aussi inspirés de l'anthropologie (Margaret Mead, 1901-1978) et de l'ethnologie (Wilhelm Wundt, 1832-1920) ainsi que de l'école historico-culturelle vygostkienne. De plus, les réflexions de John Dewey (1859-1952) ont contribué à la fondation de la cognition distribuée. Dewey (1938) parlait déjà de participation en ces termes : « L'environnement éducatif est vraiment éducatif dans ses effets dans la mesure où un individu partage ou participe à quelque activité conjointe. En prenant part à l'activité associée, l'individu s'approprie

le but qui l'anime, devient familier de ses méthodes et contenus, acquiert les habiletés nécessaires, et s'imprègne de ses entours émotionnels » (p.26).

L'approche socioculturelle de l'étude de la cognition postule que le savoir n'est pas uniquement une entité qui est acquise, enrichie ou changée de façon idiosyncratique mais plutôt une activité qui est inséparable du contexte dans laquelle elle se situe. Apprendre ne signifie pas accumuler des connaissances provenant de l'extérieur, mais aussi participer aux activités qui sont distribuées parmi les individus, les outils, et les artefacts de la communauté.

Ce courant se décline sous différents vocables : la *cognition située* (Resnick, 1987, 1994), l'*apprentissage situé* (Lave et Wenger, 1991), l'*apprentissage en contexte* (Allal, 2000), la *cognition distribuée* (Salomon, 1993), l'*intelligence distribuée* (Pea, 1993; Perkins, 1995) ou *effectuée* (Brassac, 2001). En somme, l'espace de travail cognitif créé par l'environnement interactif et dialogique de la classe est réparti entre plusieurs individus et se situe dans un environnement physique, à un moment précis.

Dans une série d'études ethnographiques et extrascolaires, Lave (1988, 1993) ainsi que Lave et Wenger (1991) ont observé des personnes résolvant des problèmes de la vie courante dans lesquels ils utilisent des outils et des symboles issus de l'environnement. Lors de ces activités, les objets contribuent autant que l'esprit à trouver des solutions. Lave (1993) attribue certaines difficultés d'apprentissage scolaire au fait que la culture scolaire diffère de celle de la vie de tous les jours. Les stratégies utilisées lors de raisonnements intuitifs et de résolution de problèmes quotidiens diffèrent de celles sollicitées par les problèmes scolaires précis, structurés, formels et exprimés par des symboles. L'apprentissage scolaire nécessite donc une enculturation.

Lave (1988) définit l'*apprenticeship* comme étant la trajectoire progressive de l'apprentissage vécu par l'individu qu'elle appelle *apprenti*. Pour Lave (1988), l'apprentissage est contextualisé. De plus, l'engagement des élèves dans les activités constitutives de l'apprentissage est crucial. La classe devient une communauté de pratique où l'action et le discours sont situés socialement, sont contextualisés (Lave, 1993).

L'activité effectuée par l'individu fait partie intégrante de la cognition. Brown, Collins et Duguid (1989) écrivent que « l'activité dans laquelle le savoir est développé et déployé, n'est pas séparable de l'apprentissage et de la cognition. En conséquence, les situations sont considérées coproductrices des savoirs au travers des activités » (p. 32). Ces chercheurs abordent la cognition située en comparant le savoir au langage. À titre d'exemple, un mot peut se définir différemment selon le contexte dans lequel il est utilisé. Les concepts ne sont pas des entités indépendantes, fixes et bien définies. Au contraire, l'activité, le concept et la culture sont interdépendants. À l'instar de Lave (1993), ils endossent l'idée d'enculturation, et définissent l'activité authentique, différente de l'activité scolaire.

Afin d'illustrer la distribution de la cognition, Hutchins (1993) utilise l'analogie de l'activité de navigation. La complexité cognitive de la tâche excède les capacités d'un seul individu et nécessite le savoir du système (l'équipage) et les outils techniques. Pour Hutchins (1993), les artefacts sont des « structures médiatisantes qui ne sont pas elles-mêmes inhérentes au domaine de la tâche » (p.338). Le concept d'artefact, d'abord inscrit dans le domaine anthropologique, désigne toute chose qui porte la marque humaine et réfère aux objets matériels fabriqués. Dans le cadre de la cognition située, l'artefact désigne « un instrument ou un outil utilisé en situation incluant le rapport au sujet » (Moro, 2001, p. 506). Parfois, l'outil mobilise l'attention

de l'individu et participe à la construction de représentations, comme dans le cas de l'utilisation de l'ordinateur.

Ainsi, l'interaction entre l'élève et l'ordinateur a intéressé certains chercheurs (Clancey, 1994; Salomon, 1993). Pour Clancey (1994), cette interaction participe à la création des représentations mentales. En voyant des images sur l'écran, l'élève construit sa représentation. En d'autres mots, les processus perceptuels, plus que la mémoire, initient la construction de schémas cognitifs. Les élèves sont engagés dans une négociation avec l'image virtuelle afin de créer un diagramme. Clancey (1994) a observé comment les relations interpersonnelles et les images (*figural schemas*) modifient l'attention, les perceptions et les représentations formelles (*formal schemas*).

Par ailleurs, Barab et Plucker (2002) affirment que la cognition distribuée cultive les compétences individuelles. L'interaction entre les pairs, la famille, l'enseignant, le matériel ainsi que les valeurs et les attentes personnelles génèrent le talent. Les forces culturelles, locales et personnelles sont alors interdépendantes. Dans cette vision écologique de la cognition, les relations réciproques entre les cognitions individuelles et les cognitions distribuées dans l'environnement s'influencent mutuellement et développent le talent.

Pour Pea (1993) et Perkins (1995), la nature distribuée de la cognition réfère au fait que les savoirs ne sont pas seulement logés dans « l'individu-solo » mais sont répartis entre les différents individus et les outils (matériels et symboliques) présents dans le contexte d'apprentissage. L'élève devient un « individu-plus », une personne dans un environnement social et physique (Perkins, 1995). L'individu est un système complexe qui pense, qui apprend et qui interagit avec son environnement. Il utilise des outils didactiques qui supportent la construction de la connaissance.

L'environnement éducatif sous-tend la « fonction d'exécution » de l'individu; celui-ci s'en détache graduellement afin de devenir autonome.

Selon Vosniadou (2007a), il est clair que le changement conceptuel n'est pas seulement un processus cognitif interne. Elle rapporte les propos de Hatano et Inagaki (1997) pour lesquels le changement conceptuel « [...] s'effectue dans des contextes variés, culturels et éducatifs et il est considérablement influencé et facilité par des processus sociaux »¹⁸ (p.50). Hatano et Inagaki (2003) poursuivent leur réflexion au sujet de la nature socioculturelle du changement conceptuel en proposant un modèle d'enseignement axé sur la discussion en grand groupe. Pour eux, le changement conceptuel n'est pas une entreprise individuelle : « Les interactions dialogiques, le support apporté par les membres du groupe et l'échafaudage cognitif élaboré par les professeurs sont tous des éléments du contexte socioculturel indispensables dans l'élaboration et la révision des connaissances conceptuelles¹⁹ » (p.424).

Dans le même ordre d'idées, Dunbar et Fugelsang (2005) insistent sur le fait que les autres membres d'un groupe « ajoutent de nouveaux raisonnements tels des inductions et des déductions, qui ébranlent et transforment les anciennes représentations²⁰ » (p. 721). Les mécanismes sociaux jouent donc un rôle crucial dans la consolidation de la compréhension des concepts. Des travaux relativement récents ont démontré que les *intrants* de l'environnement du jeune enfant contribuent à son développement conceptuel (Bourdais et Labrell, 2002; Cordier et Labrell, 2000, cités par Megalakaki et Labrell, 2009).

¹⁸ Traduction libre de: « [...] happens in broader situational, cultural, and educational contexts, and that is significantly influenced and facilitated by social processes » (p. 50).

¹⁹ Traduction libre de : « Dialogical interactions, support for enduring comprehension activity by the reference group members, and the cognitive scaffold given by teachers are all indispensable sociocultural contexts of the elaboration and revision of conceptual knowledge » (p. 424).

²⁰ Traduction libre de : « [...] often adding new inductions and deductions that both challenge and transform the reasoner's old representation of knowledge » (p. 721).

En bref, notre étude adhère aux fondements de la cognition distribuée. Elle présuppose que l'apprentissage est un phénomène social et que la cognition doit être considérée dans son habitat culturel, sans nier l'influence des croyances personnelles. Notre étude se base sur les fondements de la cognition distribuée dont les liens avec le changement conceptuel, tels que définis par Vosniadou (2007b), déterminent l'importance de prendre en compte l'ensemble des éléments cognitifs, contextuels et épistémiques impliqués dans le processus de changement conceptuel intentionnel.

2.2 Le changement conceptuel intentionnel

L'étude du changement conceptuel s'est d'abord inscrite dans un paradigme constructiviste piagétien dans lequel l'apprentissage s'effectue en manipulant les informations de l'environnement et en tentant de l'intégrer à la base des connaissances déjà disponibles en mémoire. Pour apprendre, l'enfant qui a déjà ses propres *schèmes mentaux*, procède par *assimilation* ou adaptation de nouvelles connaissances et par *accommodation* ou transformation de ses anciennes structures mentales explicatives. L'enfant réorganise sans cesse sa structure cognitive par l'*équilibration* des deux processus. Cette notion de réorganisation cognitive nous amène à distinguer deux processus essentiels en apprentissage des sciences : la conceptualisation et le changement conceptuel.

Le champ d'étude du changement conceptuel se distingue du domaine très vaste et très important de la conceptualisation. Même si ces deux domaines d'étude s'intéressent aux apprentissages scientifiques chez les élèves, ils se sont développés de façon parallèle. Notre étude se rapporte au changement conceptuel et non à la conceptualisation. Il est opportun de définir certains éléments distincts et certains points de rencontre de ces deux domaines.

La conceptualisation est un processus qui consiste à percevoir la cohérence d'un système, sous la responsabilité cognitive de l'apprenant. La conceptualisation s'effectue par une prise de décision en situation d'incertitude. Elle désigne la construction d'invariants. Pour Vergnaud (2002), la conceptualisation fait progresser la science. Elle génère des « concepts plus larges, mieux reliés entre eux, ayant des propriétés plus nombreuses et mieux définies » (p.31). Ainsi, les concepts²¹ sont constitués en faisceaux. La conceptualisation intervient chaque fois que l'on comprend quelque chose de nouveau. Elle désigne une appropriation du savoir. La conceptualisation est en relation avec l'action. Vergnaud (2002) explique : « Qu'elle accompagne l'action, qu'elle la précède ou la suive, la conceptualisation est toujours présente, et fait la différence entre les différentes manières de s'y prendre » (p.43). Astolfi et Develay (1989/1998) définissent la conceptualisation comme étant: « une intériorisation progressive de l'action, un autre au niveau verbal, puis au niveau mental » (p. 89).

Dans le cadre de l'analyse du processus de conceptualisation, tel que le conçoivent certains chercheurs (Martinand et l'équipe INRP/LIREST, 1994; Vergnaud, 2002), la question de l'apprentissage n'est pas abordée du point de vue de la modification des représentations mais du point de vue des systèmes de signifiants qui sont utilisés socialement, ainsi que des situations qui mobilisent les représentations et les schèmes d'action. Par ailleurs, la conceptualisation ne peut être dissociée de la modélisation. Pour Genzling et Pierrard (1994), la modélisation est « une aide à la

²¹ Un concept scientifique est un *outil intellectuel* (Astolfi, *et al.*, 1997/2008), c'est un nom chargé de sens, un *mot-signification* (Vygostki, 1930/1985). Il possède une valeur cognitive et comporte une fonction opératoire. Il établit entre des phénomènes une relation générative et invariante. Le concept scientifique ne désigne pas un fait brut mais une relation qui peut se retrouver dans des situations diverses (Astolfi et Develay, 1989/1998, p. 27).

conceptualisation » (p. 48) mais « n'est pas un passage obligé pour conceptualiser »²² (p. 59).

Dans le cadre de l'analyse du processus de changement conceptuel, l'évolution des représentations initiales est cruciale et détermine les étapes de l'acquisition d'un savoir de plus en plus canonique. La construction de concepts, vue sous l'angle du changement conceptuel, provient de l'interrelation de trois facteurs : la résolution d'un problème spécifique; l'utilisation des ressources matérielles, conceptuelles et analytiques issues du contexte du problème; et les processus dynamiques de raisonnements inhérents à la cognition *ordinaire* (Nersessian, 2008a). Misant sur ce dernier point, et à l'instar des travaux de Nersessian (1998, 2002, 2008a, 2008b), notre étude de la cognition se situe sur un continuum défini par l'évolution des représentations initiales.

La posture épistémologique que nous privilégions se définit par l'accent mis sur l'évolution des représentations initiales, par opposition à l'idée de rupture épistémologique. De plus, notre étude se distingue de la *tendance froide*²³ représentée par Posner *et al.* (1982) dont le caractère rationnel omet de considérer le rôle des croyances épistémiques des apprenants. L'ambiguïté de la notion d'écologie conceptuelle proposée par Posner *et al.* (1982), qui comporte des éléments analogues à l'écosystème telles les interdépendances entre les concepts, a été relevée par Pintrich *et al.* (1993). Un écosystème n'a pas de but ni d'intention alors que les élèves en ont généralement. L'apprentissage n'est pas un processus « froid et isolé » tel que

²² Beaucoup de concepts catégoriels (exemples : solides, liquides, gaz; propriété d'être ou non attirés par un aimant; ...) sont construits par des opérations de classement et ne nécessitent nullement un recours à la modélisation (Genzling et Pierrard, 1994, p. 58-59).

²³ La *tendance froide* fait appel à un apprentissage rationnel et strictement cognitif et est présenté dans le premier chapitre (section 1.3).

l'ont décrit Brown, Bransford, Ferrara et Campione (1983); (cités par Pintrich *et al.*, 1993).

Quant à la structure des représentations, deux champs théoriques s'opposent : la perspective des théories personnelles et cohérentes (Carey, 1985; Chi, 2008; Vosniadou, 2007a) et la perspective des éléments indépendants²⁴ (Clark, 2006; diSessa *et al.*, 2004). Dans le premier cas, le savoir naïf est hautement organisé en théorie, schéma ou cadre (*frame*). Selon cette vision, les conceptions naïves ressemblent aux théories naïves des scientifiques; les explications causales sont ancrées dans la théorie naïve et ne dépendent pas du contexte. Les élèves ajoutent de nouveaux éléments ou modifient leur théorie personnelle afin de la remplacer par une théorie plus scientifique. Ce changement holistique prend du temps.

Dans la seconde perspective, les connaissances initiales sont désorganisées et dépendent du contexte. Afin d'effectuer un changement conceptuel, le rôle de l'élève *organisateur* serait de corriger chacune de ses bribes d'informations pour ensuite les organiser dans des schèmes cognitifs mieux structurés. L'essentiel serait ici de créer ces liens entre les concepts, soit par accréation, addition ou réorganisation des éléments primitifs. Ce processus suivrait une trajectoire évolutive (*evolutionary*) (Özdemir et Clark, 2007).

Les chercheurs associés à ces deux différentes visions s'entendent sur le fait que le savoir initial provient de l'expérience quotidienne, que ce savoir naïf influence l'apprentissage formel et qu'il est très résistant au changement (Özdemir et Clark, 2007). La présente étude concilie ces deux approches puisque le processus de

²⁴ Traduction libre de « knowledge-as-theory perspectives and knowledge-as-elements perspectives ». (Özdemir et Clark, 2007)



changement conceptuel peut se dérouler en phases ou en périodes de restructuration parfois radicale et parfois évolutive.

Richard (2004) a noté que l'étude des schémas très primitifs décrits par diSessa, empruntés à l'expérience quotidienne et qui sont utilisés pour faire des inférences dans diverses situations d'apprentissage, pourraient être impliqués lors du raisonnement analogique, c'est-à-dire dans la création de liens entre un domaine connu et un domaine à connaître. D'autre part, certains éléments proposés par Vosniadou et autres chercheurs comportent aussi un intérêt, entre autres, celui de la cohérence des modèles explicatifs naïfs des élèves.

Le changement conceptuel sous-entend la reconnaissance de l'importance de la prise en compte des représentations initiales, quelles que soient leur structure et leur nature. Le changement conceptuel ne peut s'achever sans un enseignement systématique qui prend en considération l'ensemble des facteurs individuels, cognitifs et socioculturels de l'élève (Vosniadou, 2007a). Les enseignants doivent trouver des moyens de stimuler la motivation des élèves en créant un environnement scolaire qui peut instaurer la volonté d'apprendre et qui peut « engager les élèves en profondeur et de façon continue dans des activités de compréhension et de révision du savoir conceptuel » (Vosniadou, 2007a, p. 47).

Comme nous l'avons souligné précédemment, différents modèles ont été développés afin d'intégrer les facteurs rationnels et cognitifs (*cold*) et les facteurs affectifs, motivationnels et contextuels (*warm*). Pour peu que nous ayons pu découvrir dans la documentation scientifique, l'idée de l'apprentissage intentionnel a été introduite pas Bereiter et Scardamalia (1989). Pour eux, « learner play an active, indeed *intentional* role in the process of knowledge restructuring » (cités par Sinatra et Pintrich, 2003, p. ix). Pintrich *et al.* (1993) ont ensuite initié la tendance chaude de l'étude du

changement conceptuel. Pour eux, les élèves ont des buts épistémiques, définis par « leur motivation envers le savoir en tant qu'objet »²⁵ (p. 172). Pour Pintrich *et al.* (1993), les facteurs motivationnels englobent plusieurs construits (maîtrise du but personnel, croyances épistémologiques, intérêt personnel, valeurs personnelles, importance accordée à la tâche, sentiment d'efficacité personnelle et croyances liées au contrôle personnel)²⁶ (cités par Sinatra, 2005, p. 109).

Les travaux de Pintrich *et al.* (1993) ont fortement influencé les recherches ultérieures inscrites dans la tendance chaude du changement conceptuel. D'ailleurs, Pintrich (2000, 2003) a peaufiné son modèle psychopédagogique en y intégrant des facteurs contextuels et cognitifs²⁷. Le modèle intentionnel proposé par Dole et Sinatra (1998) repose sur des composantes métacognitives, motivationnelles et affectives. Ce modèle (CRKM ou *Cognitive Reconstruction of Knowledge Model*) inclut quatre facettes de la motivation dont l'insatisfaction déjà mentionnée par Posner *et al.* (1982), les facteurs personnels, le contexte social et le goût personnel d'apprendre (*need for cognition*). Ces éléments participent à l'engagement des élèves. Pour Dole et Sinatra (1998), l'engagement désigne « une vision cognitive et constructiviste du traitement de l'information, de l'utilisation de stratégies et de réflexions²⁸ » (p.121). Selon eux, l'engagement se situe sur un continuum : plus l'élève fait preuve de métacognition, plus le changement conceptuel sera profond. Dans cette optique, les apprenants intentionnels sont conscients de leurs idées et ont le contrôle de leurs apprentissages. Sinatra (2000) définit l'apprenant intentionnel comme étant : « celui qui utilise ses connaissances et ses croyances personnelles afin de s'engager intimement dans une

²⁵ Traduction libre de « learner's epistemic goals, defined as their motivations toward knowledge as an object » (p. 172).

²⁶ Traduction libre de « mastery goal, epistemological beliefs, personal interest, values, importance, self-efficacy, and control beliefs » (p. 109).

²⁷ Voir la section I.3.1 du chapitre I de ce document.

²⁸ Traduction libre de « a cognitive-constructivist view of information processing, strategy use, and reflectivity. » (p. 121).

action ayant un objectif précis et étant au service de l'acquisition du savoir²⁹ » (p. 15). Pour Gregoire (2003), les dimensions affectives influencent l'engagement dans le processus de changement conceptuel. Le modèle qu'elle propose (CAMCC ou *Cognitive-Affective Model of Conceptual Change*) accorde un rôle important aux facteurs affectifs et émotionnels mis en jeu lors du changement conceptuel. Ce modèle, encore plus « chaud » que celui de Dole et Sinatra (1998), insiste sur le rôle des facteurs émotionnels tels que l'anxiété et l'insécurité dans le processus de changement conceptuel. De plus, l'appréciation favorable influe sur l'engagement dans le changement. Le modèle de Gregoire (2003) a été développé à partir d'observations d'enseignants dans un contexte de réforme scolaire.

En bref, les études inscrites dans la tendance chaude se sont d'abord intéressées à la motivation en ciblant une kyrielle de construits dont les stratégies cognitives et métacognitives. La prise de conscience y joue un rôle important et le contrôle de l'apprentissage prédomine. Cependant, un examen attentif de ces modèles et de leur opérationnalisation dévoile quelques lacunes, entre autres au sujet de la mesure de la prise de conscience dans l'apprentissage (Schunk, 1991; Sinatra et Pintrich, 2003). Le changement conceptuel n'est pas toujours effectué délibérément. Certaines découvertes scientifiques ont été faites par hasard, ou par sérendipité³⁰ (Ferrari et Elik, 2003). Le scientifique Louis Pasteur avait dit : « La chance favorise les esprits bien préparés »³¹ (cité par Ferrari et Elik, 2003, p. 44). Les apprentissages surgissent parfois sans contrôle conscient, sans intention explicite. Ferrari et Elik (2003) donnent un exemple : « ils [les élèves] peuvent avoir des connaissances tacites implicites au sujet de la façon d'agir dans un contexte particulier qu'ils ne peuvent pas

²⁹ Traduction libre de « one who uses knowledge and beliefs to engage in internally-initiated, goal-directed action, in the service of knowledge and acquisition » (p. 15).

³⁰ La sérendipité est la découverte, par hasard et sagacité, des choses qu'on ne cherche pas.

³¹ Traduction libre de : « Chance favors the prepared mind » (p. 44).

décrire³² » (p. 44). De plus, les élèves du primaire auraient de la difficulté à traduire leur conscience métacognitive en stratégies d'autorégulation et d'apprentissage (Sinatra et Pintrich, 2003).

La part inconsciente de l'apprentissage est discutée par Weil-Barais (2001) : « Plusieurs phénomènes cliniques ont servi de point de départ à la réflexion sur le rôle des phénomènes inconscients et la place limitée de la conscience dans des traitements complexes de l'information » (p. 76). Ainsi, le cerveau peut fonctionner de manière inconsciente pour des tâches complexes telles la résolution de problèmes ou l'activité de pensée créative.

En conséquence de ces constats liés à la conscience, le changement conceptuel intentionnel peut aussi être envisagé sous un angle philosophique (Mason, 2003). Le rôle des croyances épistémiques dans le changement conceptuel avait déjà été mentionné par Pintrich *et al.* (1993) et examiné de façon plus exhaustive par la suite. Pour Hofer et Pintrich (1997), les croyances épistémiques sont des théories personnelles qui guident la pensée des élèves.

Mason (2003) trace le lien entre les croyances épistémiques et l'engagement dans le changement conceptuel : « L'épistémologie personnelle détermine l'organisation des objectifs des étudiants; elle détermine leur orientation personnelle à changer délibérément leurs conceptions³³ » (p. 199). Ainsi, en amont de la prise de conscience et de l'engagement dans le processus de changement conceptuel, se trouvent les croyances personnelles ancrées dans l'esprit de l'apprenant.

³² Traduction libre de : « [...] they [students] may have implicit tacit knowledge of how to act in a particular context that they are unable to describe [...] » (p. 44).

³³ Traduction libre de : « The personal epistemologies determine the organization of students' goals; that is, they determine students' goal orientation to deliberately change their conceptions » (p. 199).

Dans le cadre de notre étude, l'intentionnalité retrouve ses racines philosophiques qui sont présentées dans la prochaine section.

2.2.1 L'intentionnalité

L'intentionnalité a été introduite à la fin du XIX^e siècle par le philosophe autrichien Franz Brentano³⁴ (1838-1917) pour signifier « représenter ». L'intentionnalité, qualifiée de « marque du mental », constitue la dimension fondamentale de l'esprit. Elle caractérise la formation des représentations par l'esprit humain. Jacob (2004) endosse cette définition : « représenter un fait, c'est former une croyance; représenter un but, c'est former un désir » (p.133). Les états intentionnels sont des représentations. Représenter, c'est l'acte qui consiste à former des états mentaux. Un état mental est un état d'esprit. Un esprit correspond à la somme de tous les états mentaux. Un esprit n'est pas un cerveau.

Pour Searle (1985), l'intentionnalité, ou « la propriété de rez-de-chaussée de l'esprit », désigne la capacité biologique fondamentale de l'esprit de mettre l'organisme en rapport avec le monde. Les états mentaux intentionnels se caractérisent selon trois principaux critères.

Premièrement, la propriété de renvoi (*directedness*) à des objets et à des états de choses du monde est commune aux états mentaux et aux actes de langage. En d'autres mots, l'intentionnalité désigne la propriété de la pensée d'être toujours en rapport à un objet différent d'elle-même. Ainsi, les états mentaux renvoient, concernent ou portent sur des objets ou des états de choses du monde. La croyance, la crainte, l'espoir, le désir, le doute, le questionnement, l'imagination, le ravissement en

³⁴ Voir Brentano, F. (1874/2008). *Psychologie du point de vue empirique*. Paris : Vrin, Bibliothèque des Textes Philosophiques.

constituent des exemples. Ces états mentaux sont toujours *à propos de* quelque chose (*aboutness*). Par contre, ce trait de renvoi ne caractérise pas tous les états mentaux. Searle (1985) fait la distinction : « Il existe des formes de trouble, d'exaltation et d'inquiétude diffuse qui ne sont pas intentionnels » (p. 16). Ainsi, seules certaines émotions sont des états intentionnels. Deux états fondamentaux de l'intentionnalité prédominent : les croyances et les désirs. Une analyse fine de ces états mentaux indique une diversité de croyances et de désirs caractérisée par une augmentation de leur puissance et de leur portée.

Si un état *S* est intentionnel, *S* représente le mode psychologique qui détermine la *direction d'ajustement* du contenu représentatif. On doit pouvoir répondre à des questions comme : *S* à propos de quoi? *S* de quoi? Dans *S* (*r*), *r* symbolise le contenu représentatif qui détermine un ensemble de *conditions de satisfaction*. La *direction d'ajustement* désigne le rapport entre le monde et le dire; les *conditions de satisfaction* constituent la clé de la représentation. En résumé, une croyance est un contenu propositionnel sous un certain mode psychologique; son mode détermine « une direction d'ajustement esprit-monde et son contenu propositionnel détermine un ensemble de conditions de satisfaction » (Searle, 1985, p. 30). Dans le cas de la croyance, la *direction d'ajustement* va de l'esprit au monde tandis que pour le désir, elle est en sens contraire puisque c'est le monde qui comble le désir.

Pour (1993/2007), les états mentaux, croyances et désirs sont « des représentations qui sont autant de médiations de notre activité dans le monde » (p.29). Ils nous permettent d'entretenir une relation psychologique à la réalité. Intentionnel désigne le contenu d'une pensée, d'une croyance, d'un désir. C'est le complément d'une attitude propositionnelle.

Deuxièmement, l'intentionnalité ne peut s'identifier à la conscience. Certaines croyances existent sans qu'on y pense, sans qu'elles ne soient formulées ni examinées. Ces croyances simples ne proviennent pas d'une quelconque répression freudienne ou autre. Searle (1985) illustre cette condition par un exemple très simple : « Je crois, par exemple, que mon grand-père paternel a passé toute sa vie sans sortir du continent américain, mais, jusqu'à cet instant, je n'avais jamais clairement formulé ni examiné cette croyance » (p. 16). Le renvoi de la conscience à quelque chose dont on est conscient se distingue de la propriété de renvoi des états intentionnels. Par exemple, dans le cas de la peur consciente des serpents, l'expérience de l'inquiétude et l'inquiétude sont identiques, tandis que la peur du serpent et le serpent ne sont pas identiques. En d'autres mots, il y a une distinction entre l'état et ce vers quoi, sur quoi ou à quoi l'état renvoie. En bref, la classe des états conscients et la classe des états mentaux intentionnels se recouvrent. Ces états sont différents et non inclusifs.

Dans son mémoire intitulé *La nature de l'intentionnalité dans la philosophie de John Searle*, Pépin (2009) explique le lien intime entre la conscience et l'intentionnalité. L'intentionnalité dépend de la conscience. La plupart des états conscients sont dirigés vers quelque chose. Seul un être capable d'avoir des états intentionnels conscients est capable d'avoir des états intentionnels tout court. Même les états mentaux intentionnels inconscients sont dépendants de la conscience. Ils sont potentiellement conscients.

Troisièmement, l'intentionnalité ne désigne pas une intention de faire quelque chose (*intending*). *Avoir l'intention de* est une forme parmi tant d'autres de l'intentionnalité. Tous les états mentaux ne sont pas intentionnels mais peuvent l'être. L'intention provoque l'action qui produit un résultat. Les intentions diffèrent des désirs, elles naissent des désirs. La causalité intentionnelle suit ce tracé : les désirs provoquent l'intention qui à son tour déclenche l'action (Austington, 1993/2007). Pour Peirce

(1839-1914), « nos croyances guident nos désirs et règlent nos actions » (traduit par Tiercelin et Thibault, 2002, p. 221). Les états mentaux (espérer, croire, craindre, désirer) diffèrent des actes mentaux (faire un calcul, former une image mentale, s'exprimer par le langage).

L'intentionnalité comporte deux formes biologiquement fondamentales : la perception et l'action, qui ont pour trait spécifique que la causalité intentionnelle fait partie de leurs conditions de satisfaction, c'est-à-dire figure dans leur contenu propositionnel. Par ailleurs, l'intentionnalité se distingue de la volition qui est consciente et qui désigne l'acte par lequel la volonté se détermine à quelque chose, la volonté elle-même. L'intentionnalité est la qualité de toutes les conduites dirigées vers un but. Elle précède et gouverne les « conduites finalisées ».

En résumé, nous avons des états intentionnels. Certains sont conscients, d'autres inconscients. Ils forment un réseau complexe. Le réseau se fonde dans un arrière-plan qui est le produit de l'accumulation des interactions que les êtres biologiques entretiennent avec le monde qui les entoure. L'arrière-plan est constitué de capacités non représentatives: le savoir-faire, les compétences, les habiletés, les positions, les attitudes. L'arrière-plan pénètre tout le réseau d'états intentionnels. Il fournit les conditions de satisfaction des états mentaux. Les états intentionnels sont dépourvus d'individualité. La théorie de l'intentionnalité est donc holistique.

Dans le cadre de notre étude, le concept de l'intentionnalité ne concerne ni la motivation, ni la volonté consciente de s'engager intellectuellement dans une tâche scolaire. La nature intentionnelle de notre étude correspond plutôt à la reconnaissance des états mentaux (parfois inconscients) qui interfèrent dans le processus de changement conceptuel.

Les précurseurs de l'étude empirique des états mentaux ont d'abord étudié la découverte de l'esprit chez les tout-petits. La prochaine section présente les domaines d'études de la théorie de l'esprit et de l'épistémologie personnelle.

2.2.2 De la théorie de l'esprit à l'épistémologie personnelle

La *théorie de l'esprit* porte sur le développement de la reconnaissance des états mentaux chez les tout-petits. À titre d'exemple, chez les enfants de 3-5 ans, la théorie de l'esprit explore leur habileté à comprendre l'évidence et à inférer les croyances et désirs chez les autres personnes (Astington, Pelletier et Homer, 2002). La théorie de l'esprit se rapporte à la manière d'expliquer et de prédire les actions d'une personne ou d'une chose. Petit à petit, l'enfant constate que l'esprit est actif, que les gens construisent le monde dans leur esprit, que les pensées et les choses sont distinctes et reliées. L'enfant analyse et interprète les situations et il comprend que la représentation est à la fois un produit et un processus. Pour Houdé (2004/2009), « l'enfant doit déployer très tôt des capacités de raisonnement assez subtiles pour comprendre comment fonctionne l'esprit humain » (p. 108).

La découverte de l'esprit chez l'enfant porte sur ce qu'est l'esprit (la somme des représentations mentales) et ce que fait l'esprit (il représente). Ce champ d'étude se rattache à la psychologie du quotidien, appelée aussi psychologie profane ou naïve et qui correspond à une psychologie de la croyance et du désir. Dans ce contexte, la croyance consiste à estimer qu'une chose est vraie et le désir désigne le fait de vouloir quelque chose.

Le schéma suivant, adapté d'Astington (1993/2009, p. 76), illustre de façon sommaire la théorie de l'esprit chez les enfants. Les désirs proviennent des instincts et de deux formes d'émotions : les émotions naturelles (qui font partie de notre nature

biologique) ainsi que les émotions produites par des croyances et des désirs. Les désirs peuvent amener à des intentions et à des actions, dont découlent des résultats qui se traduisent en événements dans le monde. Les désirs peuvent aussi être satisfaits par des événements qui ne naissent pas de nos actions. Les croyances viennent de notre perception des événements par l'intermédiaire de la déduction.

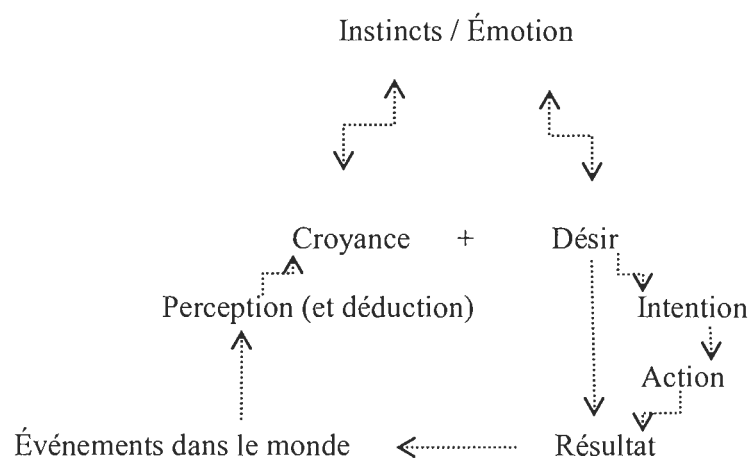


Figure 2.2 La théorie de l'esprit (Astington, 1993/2009)

En plus de l'intention, des désirs et des croyances, la découverte de l'esprit chez l'enfant porte sur la compréhension de la pensée et de l'acte d'apprendre (*knowing*). Au sujet de la pensée, la plupart des enfants d'âge préscolaire savent que les objets inanimés ne pensent pas et ils distinguent le fait de penser du fait de percevoir les choses avec leurs sens (Flavell, Green et Flavell, 1995). À partir de 5 ans, les enfants sont en mesure d'expliquer comment ils trouvent une solution à un problème simple (Siegler et Wagner Alibali, 2004).

Le rapport au savoir constitue un élément épistémologique qui entre en jeu dans le processus de l'apprentissage. L'épistémologie personnelle pose les questions suivantes : Comment savons-nous ce que nous savons? Comment construisons-nous

notre compréhension du monde? Comment nos croyances au sujet de la connaissance et de l'acte de connaître influencent-elles nos apprentissages?

Bien que l'épistémologie personnelle et la théorie de l'esprit soient des domaines de recherche distincts, les deux s'intéressent au savoir ainsi qu'à l'activité de pensée. Cependant, à notre connaissance, peu d'études ont permis de faire le pont entre ces deux domaines de recherche. La théorie de l'esprit s'intéresse à la découverte de la pensée chez les tout-petits et l'épistémologie personnelle fait appel aux conceptions personnelles des élèves au sujet de la nature du savoir et des moyens d'accéder à ce savoir. Or, ces conceptions se manifestent particulièrement à l'adolescence où, selon plusieurs chercheurs, il serait plus facile de les analyser (Burr et Hofer, 2002).

Les quelques études conduites avec des jeunes du primaire ont identifié des étapes semblables à celles reconnues chez des élèves de niveau préuniversitaire (dualisme/absolutisme, et même une forme de multiplisme) (Burr et Hofer, 2002, p. 206). Chandler *et al.*, (2002) suggèrent que le développement épistémologique se fait en spirale et dépend des interactions avec l'environnement. Ils n'attribuent pas systématiquement aux jeunes du primaire une épistémologie dualiste et absolutiste.

Pour Kuhn, Cheney et Weinstock (2000), le développement de la compréhension épistémologique et du raisonnement argumentatif dépend de la coordination des dimensions subjectives et objectives du savoir par les élèves. Les goûts personnels, l'esthétique et les valeurs influencent le jugement. Une fois que la subjectivité est acceptée, l'objectivité prend le dessus. Le tableau 2.1 présente la progression des assertions personnelles selon Kuhn *et al.* (2000).

Tableau 2.1 Niveaux de la compréhension épistémologique (Kuhn *et al.*, 2000)

Niveau	Assertions	Réalité	Savoir	Pensée critique
réaliste	COPIES de la réalité externe	apprentissage direct de la réalité	vient d'une source extérieure et est certain	non nécessaire
absolutiste	FAITS corrects ou incorrects dans leur représentation de la réalité (fausses croyances)	apprentissage direct de la réalité	vient d'une source extérieure et est certain	véhicule pour comparer les assertions et déterminer leur vérité ou leur fausseté
multipliste	OPINIONS libres et personnelles	pas d'apprentissage direct de la réalité	est généré par l'esprit humain et est incertain	pensée critique hors de propos
évaluativiste	JUGEMENTS pouvant être évalués et comparés à partir de critères (argument et évidence)	pas d'apprentissage direct de la réalité	est généré par l'esprit humain et est incertain	véhicule qui privilégie les assertions valables et améliore la compréhension

La progression de la compréhension épistémologique proposée par Kuhn *et al.* (2000) trace l'évolution de la pensée critique et du jugement qui, graduellement, dépasse la simple appréhension directe de la réalité. La pensée épistémologique, c'est-à-dire la façon dont les personnes abordent la connaissance et comprennent les affirmations concernant le réel, est reprise par King et Kitchener (1994) qui utilisent l'expression pensée réflexive.

Le modèle du jugement réflexif proposé par King et Kitchener (1994) s'appuie sur les idées de Dewey (1933) au sujet de la pensée réflexive, et de son rapport à l'action. Pour Dewey, la pensée provient d'un « état de doute, d'hésitation, de perplexité, de difficulté mentale » puis génère « une action de recherche, d'investigation, afin de se doter d'instruments de résolution de doute, de se stabiliser et de se débarrasser de l'état d'incertitude » (1933, p. 12). Dans cette optique, l'élève se questionne sur sa propre conception de la connaissance et de l'apprentissage afin de porter des jugements qui soient le résultat d'un raisonnement adéquat.

Le modèle du jugement réflexif englobe trois niveaux : pensée *pré-réflexive*, pensée *quasi-réflexive* et pensée *réflexive*. Il comporte sept stades épistémiques (*stages* en anglais). Au fur et à mesure que l'on monte dans les stades, la vision de la connaissance et les formes de justification se raffinent. Chaque stade se caractérise par une manière différente d'aborder les problèmes peu structurés. Pour les premiers stades, le recours à l'autorité prédomine tandis qu'aux niveaux supérieurs, la connaissance est considérée comme étant relative et contextualisée.

La pensée *pré-réflexive* ne distingue pas le fait du jugement; elle voit la connaissance de façon absolue et concrète. Le deuxième niveau de ce stade suppose que la connaissance est détenue par des experts. La pensée *quasi-réflexive* est empreinte d'opiniâtreté; la connaissance y est contextualisée et subjective et elle subit le filtre des perceptions. Graduellement, les trois niveaux de ce stade accordent une place à l'interprétation des preuves. La pensée *réflexive* postule que la connaissance est construite par comparaison entre différentes sources, entre différents contextes. Au premier niveau de ce stade, les croyances proviennent de la comparaison entre les preuves et les opinions issues de différentes perspectives d'un problème ou grâce à différents contextes et en construisant une solution évaluée par des critères tels le poids de l'argument, l'utilité de la solution et le besoin pragmatique d'action. Au

stade supérieur, la connaissance est le résultat d'un processus d'investigation, elle est probabiliste et généralisable. Les conclusions sont défendues comme représentant la plus complète et la plus plausible compréhension d'une situation sur la base des preuves disponibles³⁵.

Bien que les études consultées aient surtout été conduites à l'ordre d'enseignement du secondaire et à celui du préuniversitaire (Duell et Schommer-Atkins, 2001; Hofer et Pintrich, 1997; King et Kitchener, 1994; Kuhn, 2001; Schommer, 1990), des efforts de classification de l'épistémologie personnelle ont aussi été faits au niveau primaire. Boyes et Chandler (1992) ont présenté quatre stades du développement épistémique : au niveau 0, le réalisme naïf chez les enfants du préscolaire (basé sur la simple observation); au niveau 1, le réalisme défensif lié au stade concret; au niveau 2, l'axe du scepticisme-dogmatisme pendant le stade piagétien des opérations formelles; et au niveau 3, le rationalisme-post scepticisme chez les adolescents. Pour Boyes et Chandler (1992), cette progression épistémique s'associe au développement cognitif et à la construction de l'identité personnelle des jeunes.

En plus de l'étude du développement de l'épistémologie personnelle, les chercheurs de ce domaine scrutent les unités qui la composent : les croyances épistémiques.

2.2.3 Les croyances épistémiques

Au lieu d'envisager l'épistémologie personnelle comme une entité unique et complexe, Schommer (1990) la définit comme étant un système de croyances multidimensionnelles plus ou moins indépendantes dans leur expression et leur évolution.

³⁵ Les stades du modèle du jugement réflexif sont détaillés dans un tableau reconstitué par Toussaint et Lavergne (2005).

Le modèle théorique initial de Schommer (1990) énonce cinq dimensions des croyances épistémiques. Chaque dimension se situe sur un continuum allant d'une perspective naïve vers un point de vue sophistiqué (Schommer, 1994). Ces dimensions se réfèrent à : a) la stabilité de la connaissance (depuis « la connaissance est absolue, immuable » jusqu'à « la connaissance est en évolution »); b) la structure de la connaissance (depuis « la connaissance est non ambiguë, organisée en petits bouts isolés » à « la connaissance est organisée en concepts interreliés »); c) la source de la connaissance (depuis « la connaissance est détenue par l'autorité » jusqu'à « la connaissance provient de la raison »); d) la vitesse de l'apprentissage (depuis « la connaissance est acquise en tout ou rien » jusqu'à « la connaissance est acquise par palier »); e) le contrôle de l'apprentissage de la connaissance (depuis « l'aptitude à apprendre est fixée dès la naissance » jusqu'à « l'aptitude à apprendre peut être modifiée »). Bien que certains éléments, tels que la vitesse de l'apprentissage et le contrôle dans l'acquisition du savoir, ont été délaissés parce qu'ils portent sur la capacité d'apprendre et non sur la nature du savoir, les études de Schommer (1990) menées au niveau préuniversitaire ont inspiré les chercheurs qui œuvrent au primaire.

À titre d'exemple, Elder (2002) a proposé quatre dimensions pour caractériser l'épistémologie naïve des jeunes élèves du primaire : leur perception de la stabilité, de la certitude du savoir, de la source du savoir et de la justification du savoir. La source correspond aux croyances en rapport à l'autorité des savoirs (p. ex., tout ce que dit mon enseignant est vrai). La certitude réfère au fait qu'il y aurait une seule bonne réponse possible en sciences. Le développement ou la stabilité mesure la croyance que le savoir est en évolution et change. La justification concerne le rôle de l'expérimentation dans la démonstration de la preuve.

La sophistication des croyances épistémiques d'élèves du primaire au sujet de la source, de la certitude, du développement et de la justification du savoir a été

examinée par certains chercheurs (Conley *et al.*, 2004; Smith *et al.*, 2000). L'équipe de Conley (2004) a conclu qu'un enseignement des sciences basé sur l'investigation développe l'épistémologie personnelle des élèves, peu importe leur sexe ou leur origine ethnique. Smith *et al.* (2000), dans une étude menée avec des élèves de 6^e année, ont utilisé le questionnaire *The Nature of Science Interview* développé par Carey et Smith (1993) et ils ont démontré qu'un enseignement constructiviste axé sur le rôle central des idées développe une vision critique de la science ainsi que le sens de la preuve. Dans une étude récente menée auprès d'élèves de 3^e année, Kittleson (2011) conclut qu'un contexte éducatif axé sur l'investigation et le partage des idées raffine les croyances épistémiques des élèves.

Pour Hofer et Pintrich (1997), les croyances épistémiques désignent les « pensées, prémisses ou assertions personnelles au sujet des objets ou phénomènes du monde matériel ou mental » (p. 112). Les recherches actuelles qui portent sur les croyances épistémiques se concentrent sur deux questions essentielles : la nature du savoir et la création du savoir.

La nature du savoir désigne les théories personnelles des élèves à propos du degré de *certitude* attribuée aux connaissances scientifiques, représentées soit comme définitives, arrêtées une fois pour toutes, peu soumises à la révision, ou au contraire, provisoires et évolutives. Les croyances portent aussi sur le degré de *complexité* d'un savoir scientifique qui est soit constitué d'une vaste accumulation de faits, de concepts, de lois et de méthodes ou au contraire, d'un réseau de ces différents éléments, fortement reliés entre eux. À titre d'exemple, une vision dualiste envisage le savoir sous le mode dichotomique du vrai/faux, bon/mauvais, scientifique/non scientifique tandis que dans la multiplicité, l'élève accepte l'existence d'une pluralité de points de vue et d'interprétations d'un même phénomène. Il se fait aussi à l'idée

que des connaissances peuvent être, dans quelques domaines, provisoires et incertaines.

La création du savoir se rapporte à son développement, à sa *source*, c'est-à-dire soit à la détention par une autorité savante, ou au contraire au fait que le savoir est le produit d'une activité humaine, datée et contextualisée et que leur valeur de vérité dépend de la démonstration de la preuve.

Cette approche multidimensionnelle de l'épistémologie personnelle avait aussi été privilégiée par Royce (1978). Ce chercheur avait proposé deux dimensions au sujet des croyances épistémiques : la provenance du savoir (*how knowledge is derived*) et la justification du savoir (*how knowledge is justified*). Dans la cadre du modèle de Royce (1978), trois approches épistémologiques sont privilégiées: le rationalisme, l'empirisme et le métaphorisme³⁶. Les individus qui prônent le rationalisme croient que le savoir provient de la raison et de la logique. Les individus empiristes privilégient l'observation et l'expérimentation. Le métaphorisme caractérise les individus qui croient que le savoir provient de l'intuition et se justifie par l'universalité (*universality*).

Selon ce modèle, le profil épistémique influencerait les processus cognitifs. À titre d'exemple, un individu à prédominance rationaliste recherche la conceptualisation et la signification du savoir tandis qu'un individu dont le profil est empiriste privilégie la perception spatio-visuelle. Le métaphorisme implique la symbolisation, l'expressivité des idées et des mots et il sollicite une grande part d'imagination. Royce (1978) reconnaît que les trois dimensions n'agissent pas indépendamment mais que chaque personne possède un profil prédominant. Selon lui, les croyances épistémiques jouent un rôle important dans la compréhension du monde. L'approche

³⁶ Traduction libre de « metaphorism ».

de Royce est encore utilisée dans certaines études récentes telles que celle de Franco, Muis, Kendeou, Ranellucci, Sampasivam et Wang (2012).

À l'instar de Peirce (2002), notre étude attribue une grande importance à la croyance dans la pensée humaine. Pour lui, « La pensée est excitée à l'action par l'irritation du doute, et cesse quand on atteint la croyance; produire la croyance est donc la seule fonction de la pensée (p. 241) et « le sentiment de croyance est une indication plus ou moins sûre, qui s'est enracinée en nous, une habitude d'esprit qui détermine nos actions » (p. 221).

Les croyances possèdent des propriétés qui caractérisent la logique. À ce sujet, George (1997) affirme que les croyances affecteraient le raisonnement non seulement en fonction de leur compatibilité avec la conclusion, mais aussi en fonction de leurs informations utilisées comme prémisses » (p. 145). Pour lui, la propriété des croyances est la consistance interne : « L'inconsistance peut entraîner une révision des croyances, et partant de l'acquisition de croyances mieux fondées si l'individu est motivé à éliminer les contradictions » (p.193).

La relation entre la croyance et la réalité se caractérise par sa vérité ou sa fausseté. Si le contenu propositionnel d'une croyance correspond à la manière dont les choses se passent effectivement dans la réalité, cette croyance est vraie. Si elle est fausse, on peut la modifier pour qu'elle devienne vraie. Les désirs ne sont ni vrais, ni faux. La relation entre le désir est de l'ordre de la satisfaction ou de la déception. Les émotions ne sont ni vraies, ni fausses et ne peuvent être ni satisfaites, ni déçues (Astington, 1993/2009). Les émotions colorent les croyances et les désirs et par conséquent doivent être prises en compte dans une étude de la cognition intentionnelle.

La composante émotionnelle et subjective de l'intentionnalité caractérise les croyances épistémiques (Kuhn, 2001; Schommer, 1990). La prochaine section examine l'aspect affectif des croyances exprimé par les émotions cognitives.

2.2.4 Les émotions cognitives

Les émotions participent à la cognition. Pour Colletta et Tcherkassof (2003), les émotions désignent des « sentiments, des expériences intimes, des états cognitifs, des jugements remplis de chaleur, des cognitions chaudes » (p. 14). Pour ces auteurs, le plaisir serait « la propension ressentie ou actée à accepter la situation, stimulus ou état » (p. 22). Le déclenchement des émotions provient de la signification des événements par le sujet. Une évaluation primaire axée sur l'intérêt précéderait une évaluation secondaire dirigée vers l'action. Pour Coletta et Tcherkassof (2003), la théorie cognitive des émotions suppose que « ces évaluations sont en principe inconscientes et automatiques » (p. 29). Tout comme dans la théorie de l'esprit (Astington, 1993/2009), Coletta et Tcherkassof (2003) constatent que « les émotions font le pont entre la cognition et l'action » (p. 33).

Les émotions cognitives sont générées lors de la production de représentations, lors de l'apprentissage ou de l'évaluation de représentations portant sur le monde. Scheffler (1991) attribue aux émotions un rôle crucial dans l'acquisition du savoir, autant en arts qu'en sciences. Pour lui, les émotions aident à appréhender le monde à partir de sensations (*feeling*) en guidant l'interprétation d'une situation. Les émotions alimentent l'imagination et génèrent la création d'idées. De plus, elles permettent de sélectionner les modèles, de définir leur valeur. Scheffler (1991) poursuit son plaidoyer : « Les modèles développés par l'imagination portent leurs propres valeurs émotionnelles ; ces valeurs guident la sélection et l'importance accordées aux idées. Elles aident à imaginer des modèles pour structurer les phénomènes, et elles éclairent les

faits qui présentent un intérêt pour une future enquête³⁷ » (p. 131). Il ajoute que les émotions participent à la résolution de problèmes et influencent la prise de décisions.

Scheffler (1991) distingue les émotions liées à la morale et les émotions cognitives. Il écrit : « Je propose de considérer une émotion spécifiquement cognitive si elle repose sur une supposition de nature cognitive – c'est-à-dire, une supposition ayant trait aux savoirs du sujet (les croyances, les prédictions, les attentes) et, dans le cas qui nous intéresse, qui porte sur leur statut épistémologique » (p. 133)³⁸.

La curiosité engendre deux types d'émotions cognitives : la joie de la vérification (*joy of verification*) et l'étonnement (*surprise*) (Gopnik, 1998). Trouver une réponse ou découvrir un phénomène génère un état de grâce très motivateur. L'étonnement relève de l'émerveillement et son impact nerveux est résorbé par l'explication trouvée lors d'une investigation. Gopnik (1998) décrit la pulsion explicative, qui conduit à une grande joie lorsque l'explication est produite; par exemple, le cri Eureka! Ces émotions, qui caractérisent les enfants, se manifestent aussi chez les scientifiques (Thagard, 2002). Elles participent à l'engagement cognitif dans le processus d'apprentissage.

D'autre part, le rôle de l'affect dans la cognition est démontré par la neuroscience. La relation entre la raison et l'émotion a intéressé Damasio (2006). Pour lui, l'émotion participe à la raison et elle peut assister au processus de raisonnement au lieu de le

³⁷Traduction libre de « The patterns developed in imagination carry their own emotive values; these values guide selection and emphasis. They help imagined patterns to structure the phenomena, highlighting factual features of interest to further inquiry » (p. 131).

³⁸Traduction libre de « I propose to consider an emotion specifically cognitive if it rests upon a supposition of a cognitive sort – that is to say, a supposition relating to the subject's cognitions (beliefs, predictions, expectations) and, in case of special interest to us, bearing upon their epistemological statute » (p. 133).

déranger. Par exemple, dans le cas de la peur, les émotions font agir intelligemment sans nécessairement penser intelligemment.

Damasio (2006) présente les rôles de l'émotion dans le processus de raisonnement : « Elle [L'émotion] peut conférer trop d'importance à une prémisse et biaiser la conclusion qu'on en tire. Par contre, l'émotion permet de garder présents à l'esprit les multiples faits qu'on doit prendre en compte pour être capable de prendre une décision » (p. III). L'émotion assiste la raison et entretient un dialogue avec elle. L'émotion livre des informations cognitives directement ou par le biais des sentiments.

Deux types d'émotions interviennent. Les émotions primaires (innées, pré-programmées) dépendent de circuits neuronaux appartenant au système limbique, au sein duquel l'amygdale et le cortex cingulaire antérieur jouent le rôle le plus important (Damasio, 2006). Les émotions secondaires se manifestent à partir de la perception des émotions et du fait de faire des liens entre les situations et les émotions primaires. En d'autres mots, l'émotion résulte de « la combinaison de processus d'évaluation mentale, simples ou complexes, avec des réponses à ces processus, issues de représentations potentielles. Ces réponses s'effectuent au niveau du corps mais aussi au niveau du cerveau lui-même, ce qui conduit à des changements mentaux supplémentaires » (Damasio, 2006, p. 183).

Les systèmes cérébraux, étudiés sur des patients ayant eu une lésion cérébrale d'un secteur particulier du lobe frontal, fonctionnent selon des mécanismes neuraux qui sous-tendent la faculté de raisonnement. Pour Damasio (2006), le raisonnement « pur », cartésien et logique omet de considérer les sensations qui émergent lors de la représentation d'un problème et des solutions envisagées. Les *marqueurs somatiques*

alertent le décideur dans sa délibération. Ils conduisent à « choisir parmi un plus grand nombre d'alternatives » (p. 225).

La physiologie des émotions, par l'intermédiaire des marqueurs somatiques, confirme donc la contribution des émotions dans le processus de raisonnement. La prochaine section approfondit le concept de raisonnement.

2.3 Le raisonnement

Dans l'*Encyclopaedia universalis*, Blanché (1995) décrit le raisonnement comme « une certaine activité de l'esprit, une opération discursive par laquelle on passe de certaines propositions posées comme prémisses à une proposition nouvelle, en vertu du lien logique qui l'attache aux premières » (p. 508). Il précise : « Reasonner, c'est inférer une proposition, appelée conclusion, à partir de certaines autres prises comme prémisses » (p. 508).

Pour Peirce (2002), la relation qui justifie l'inférence est celle par laquelle une certaine proposition, appelée conséquence s'ensuit logiquement de certaines autres qui jouent par rapport à elle, le rôle de principes. La conséquence résulte donc du principe. Cette relation *illative* détermine les conditions de validité de l'inférence. La validité est indépendante de la vérité des propositions que l'inférence met en jeu : on peut raisonner correctement sur les propositions douteuses (raisonnement hypothético-déductif) ou fausses (raisonnement par l'absurde). La validité d'une inférence ne dépend pas de son contenu mais de sa forme. Les schémas d'inférence que sont les moules à raisonnement sont légitimés par la logique. C'est la fausseté de la conséquence qui permet de conclure qu'il y a un élément de fausseté dans les principes, car le faux ne peut se déduire du vrai.

Du point de vue argumentatif, le raisonnement se définit comme un enchaînement de propositions ayant pour objectif de tenir un discours ou une argumentation cohérente sur un sujet donné. Le discours est préférablement organisé car il tente d'expliquer ou de convaincre. Pour Perelman et Olbrechts-Tyteca (1958/1988), le raisonnement est formé de raisons avancées n'ayant pas valeur de preuve mais qui s'imposent à tout être raisonnable. L'inférence se distingue donc de la démonstration. Celui qui invoque des raisons pour ou contre une thèse argumente sans pour autant faire une inférence. L'argumentation est une forme complexe de raisonnement et consiste à invoquer des raisons pour ou contre (délibération) ou à partir d'une thèse donnée, à présenter des arguments favorables (justification) ou défavorables (réfutation).

Pour Oléron (1977), le raisonnement désigne « un enchaînement, une combinaison ou une confrontation d'énoncés ou de représentations, respectant des contraintes susceptibles d'être explicitées et conduites en fonction d'un but » (p. 10).

Le raisonnement est donc une suite de propositions vraies ou fausses, liées les unes aux autres et aboutissant à une conclusion. Les propositions sont des phrases déclaratives « grammaticalement bien construites, pourvues d'une signification permettant de lui attribuer, au moins en principe, le caractère de vérité ou de fausseté » (Politzer, 2007, p. 11). Les propositions sont constituées des prédicats et de quantificateurs. Entre les propositions se retrouvent les connecteurs tels « et », « si...alors », « ou », etc. Les relations logiques entre les propositions se déclinent en fonction de la conséquence logique, de l'équivalence, de la contradiction et de la contrariété.

L'argument est une suite de propositions constituée d'une part, de propositions appelées prémisses et d'autre part d'une proposition unique appelée conclusion. La vérité des prémisses justifie la valeur de la conclusion. Les marqueurs de conclusion

sont « donc », « alors », « par conséquent » et les marqueurs de prémisses sont « puisque » « comme », etc. (Politzer, 2007).

Les deux façons d'aborder l'étude du raisonnement sont l'approche logique et l'approche psychologique. Le raisonnement se distingue de la logique. Une explication de cette dissociation conceptuelle suit.

2.3.1 La logique mentale : définition et limites

Eu égard à la logique mentale traditionnellement attribuée au raisonnement, Braine (1992) définit celle-ci comme étant « un assemblage de déductions élémentaires qui se font presque automatiquement et sans qu'on en ait conscience [...] » (p. 20). Pour Politzer (1992), la logique mentale est « un ensemble de règles abstraites possédant une syntaxe et pouvant s'appliquer indépendamment du contexte » (p.79).

Des critiques de la logique propositionnelle (qui fait partie de la logique mentale) ont été soulevées par Langlois (2008). Il écrit : « Bien qu'au plan opératoire et mathématique, la logique propositionnelle soit bien définie, le langage parlé, de par sa richesse et ses subtilités, comporte des particularités le rendant plus complexe à analyser » (p. 27). Il souligne la pluralité des significations que les connecteurs propositionnels peuvent prendre selon les situations; par exemple, le terme « ou » qui peut être inclusif ou exclusif ainsi que l'ordre temporel ou séquentiel du connecteur « et ». Souvent les propositions sont omises dans un discours, ce qui rend difficile l'analyse du raisonnement. Le chercheur doit faire appel au contexte et s'appuie sur le pragmatisme expérimental tel que développé par Noveck (2002, cité par Langlois, 2008, p. 28).

Braine (1992) insiste aussi sur l'aspect pragmatique du raisonnement : « Dans la compréhension et dans le raisonnement pratique quotidien, les déductions logiques s'intègrent à une masse d'autres déductions non-logiques – déductions causales, analogiques, plausibles, etc. – et que toutes s'alimentent les unes des autres dans des buts pragmatiques » (p. 20).

Selon Politzer (1992), beaucoup de psychologues rejettent l'hypothèse d'une logique mentale dans le raisonnement naturel déductif. Pour le démontrer, il cite la théorie des modèles mentaux de Johnson-Laird (1983) dans laquelle l'activité inférentielle de l'individu s'explique par le principe suivant :

Une inférence est valide si la conclusion demeure vraie dans toutes les situations où les prémisses sont vraies. Le sujet construit un modèle interprétatif des prémisses; il envisage une conclusion basée sur celui-ci; puis il cherche d'autres modèles interprétatifs des prémisses qui conduisent à des contre-exemples de la conclusion considérée. S'il n'en trouve pas, il accepte la conclusion comme valide » (p. 79).

L'explication d'Evans (1984, 1989) réfute aussi l'hypothèse d'une logique formelle. Pour lui, le raisonnement s'opère à partir de deux processus : l'un heuristique et l'autre analytique. Les processus heuristiques pré-attentionnels ont pour fonction de sélectionner l'information la plus pertinente, laquelle est soumise à des processus analytiques qui produisent des inférences. Ces inférences n'obéissent pas à des règles formelles et sont faites sur la base de l'expérience du sujet et de considérations sémantiques. Politzer (1992) justifie les erreurs de raisonnement par le fait qu'il existe d'autres règles qui interfèrent avec les règles de logique. Pour lui, le jugement, le raisonnement inductif, l'organisation conceptuelle, sont soumis, comme le raisonnement déductif, à des contraintes d'ordre pragmatique.

De plus, l'approche logique de l'étude du raisonnement omet de considérer l'activité opératoire et écarte la notion de l'esprit. Pour Blanché (1995), les développements du formalisme logique ont pour effet de « substituer le calcul au raisonnement et d'accroître l'écart entre ces calculs devenus autonomes et ces opérations logiques de l'esprit dont ils s'étaient d'abord inspirés » (p. 508). Il est donc pertinent de rattacher la logique opératoire naturelle à son fonctionnement psychologique.

2.3.2 Le point de vue psychologique

Du point de vue psychologique, le raisonnement constitue « une composante fondamentale de l'intelligence et se situe au cœur du fonctionnement de bon nombre de systèmes cognitifs, qu'ils soient naturels ou artificiels » (Rossi et Van der Henst, 2007, p. 7). Le raisonnement possède deux sens : 1- sa formulation généralement de façon verbale et constitué d'un enchaînement de phrases exprimant des « raisons » pour aboutir à une conclusion et 2- l'ensemble des mécanismes cognitifs qui soutiennent ces activités.

Cette double facette du raisonnement est reprise par Weil-Barais (2001) en ces mots : « Le terme *raisonnement* désigne d'une part, le processus intellectuel et d'autre part, le résultat de ce processus, c'est-à-dire l'inférence derrière » (p. 507). Selon elle, les types de raisonnement se déclinent en fonction de deux critères : des critères pragmatiques et des critères de vérité (règles établies ou canons). Les raisonnements sûrs ou canoniques sont les raisonnements déductif et inductif dont le syllogisme conditionnel. Ces remarques rejoignent les éléments déjà mentionnés au sujet de la logique formelle. Du point de vue didactique, Weil-Barais (2004), indique que « les démarches inductives sont privilégiées dans l'enseignement puisqu'elles sont plus accessibles aux élèves » (p. 150). Dans la catégorie pragmatique, Weil-Barais (2001) identifie le raisonnement analogique et le raisonnement en contexte : « Excepté dans

des situations de raisonnement immédiat (traitement de syllogismes ou de propositions logiques), il est en général difficile de raisonner sans support symbolique » (p. 532). Elle mentionne l'importance des systèmes sémiotiques et de la contribution cognitive des autres personnes dans le raisonnement collectif. La cognition devient ainsi distribuée.

Le raisonnement désigne un mécanisme d'élaboration des inférences. Cependant, toutes les activités inférentielles ne sont pas forcément du raisonnement : c'est le cas notamment des activités perceptives. Pour Blanché (1995), le raisonnement possède deux fonctions principales. Il est un moyen de preuve et de justification et il est un instrument d'invention. En premier lieu, le fait de rattacher, par une relation *illative*, une proposition ou une conséquence à une autre proposition dont la vérité est reconnue peut s'effectuer par une démonstration mathématique rigoureuse ou une démonstration expérimentale. En deuxième lieu, le raisonnement peut générer la découverte. Le raisonnement qui n'est pas guidé par une idée préconçue peut aboutir à un résultat inattendu. La découverte se réalise par la convergence des raisonnements en sautant certains enchaînements logiques.

En bref, le raisonnement ne suit pas nécessairement les lois de la logique, même chez l'adulte. Cela a conduit à distinguer raisonnement et logique, et à prendre en compte la multiplicité des modes de raisonnement.

2.3.3 Le polymorphisme du raisonnement

La catégorisation des modes de raisonnement diffère selon les auteurs (Gauch, 2003; Georges, 1997; Leblanc et Widsom, 1972; Toussaint et Gréa, 1996; Weil-Barais 2001). À titre d'exemple, le raisonnement peut être de nature conditionnelle,

covariante, causale, analogique, inductive ou déductive³⁹. La prochaine figure constitue une présentation arborescente de certaines formes de raisonnement proposée par Sander⁴⁰ (2006, p. 161). Les termes en caractères gras indiquent les modes de raisonnement présentés dans ce chapitre : le raisonnement déductif d'une part et d'autre part, trois formes de raisonnement incertains : inductif, abductif et analogique; ce dernier ayant été ciblé plus spécifiquement dans le cadre de notre étude.

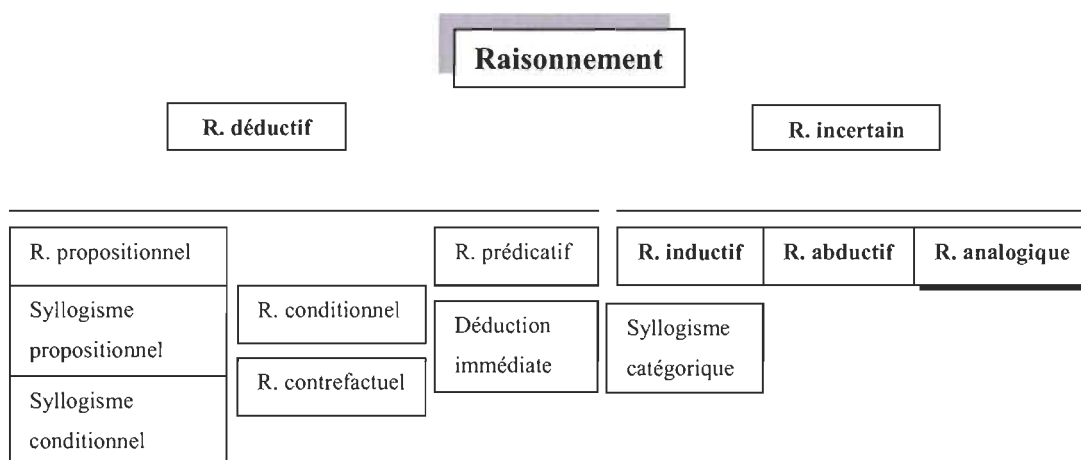


Figure 2.3 Les formes de raisonnement (Sander, 2006)

En général, les raisonnements déductif et inductif sont présentés à partir de leur caractère dichotomique et complémentaire.

2.3.3.1 La dichotomie déduction-induction

La relation entre les propositions peut être parcourue dans les deux sens : 1- l'opération directe, selon que le rapport des prémisses à la conclusion coïncide avec celui du principe et la conséquence ou 2- l'opération inverse dans laquelle, au

³⁹ Ces modes de raisonnement sont décrits en détails dans le mémoire de Langlois (2008).

⁴⁰ Cette présentation arborescente ne comporte pas de flèches, telle que proposée par l'auteur.

contraire, la proposition prise comme prémisse est traitée comme une conséquence dont on cherche un principe. En d'autres mots, le type de raisonnement direct, progressif et rigoureux correspond au raisonnement déductif, qui va du général au particulier et qui tire les conséquences d'une loi, d'un principe, d'une règle générale et les applique à un cas particulier. Tandis que le raisonnement inductif va du particulier au général. Il envisage un cas précis pour en tirer les implications à un niveau général.

Dans le cas de la déduction, la structure formelle des arguments démonstratifs ou déductifs garantit la vérité (conditionnelle) de la conclusion car ces arguments livrent une conclusion vraie pourvu que les prémisses le soient. Dans le cas de l'induction, les arguments non démonstratifs produisent une conclusion seulement probable et plus ou moins crédible. La relation entre les prémisses et la conclusion fait la force d'un argument inductif et est fondée sur des données factuelles et non sur la forme de l'argument comme c'est le cas pour l'argument déductif. L'usage typique de l'induction consiste à généraliser; toutefois, la conclusion issue de cette forme d'argument peut tout aussi bien être singulière que générale. Parmi les arguments inductifs généralisants, se distinguent la généralisation inductive universelle (induction par énumération) et la généralisation inductive statistique. Le genre d'arguments inductifs non généralisants comprend l'induction analogique et les arguments inductifs fondés sur les catégories (Rossi *et al.*, 2007).

La dualité entre les opérations directes et inverses correspond en quelque sorte à l'expression de l'opposition générale de la synthèse et de l'analyse. La synthèse suit l'ordre normal de dépendance, progressant de la condition au conditionné, et avec sécurité puisque que celui-ci est déterminé univoquement par celui-ci (Blanché, 1995). D'autre part, l'analyse (résolution, solution à rebours) désigne la démarche régressive qui remonte du conditionné à la condition (de la conséquence au principe, de l'effet à

la cause, du présent au passé, du composé à ses éléments, etc.) et qui est incertaine car un même conséquent peut dépendre d'antécédents différents (Blanché, 1995).

Cette dichotomie déduction-induction suscite des discussions entre les logiciens et les psychologues. Parmi les formes de raisonnement dont la conclusion n'est que probante, se retrouvent le raisonnement inductif et d'autres formes de raisonnement dont le raisonnement abductif ainsi que le raisonnement analogique. Une présentation sommaire du raisonnement abductif ainsi que du raisonnement scientifique chez l'enfant sera suivie d'une présentation plus exhaustive du raisonnement analogique puisque ce dernier fait partie de l'objet de notre étude.

2.3.3.2 Le raisonnement abductif

En plus de la déduction, « le raisonnement qui conduit de propositions données aux propositions qui en découlent rationnellement » (Mourral et Millet, 1995, p. 73) et de l'induction, « l'opération par laquelle l'intelligence passe des faits aux lois qui les expliquent » (Ibid., p. 169), on doit à Peirce (1867) la mise en évidence d'une troisième forme de raisonnement, l'abduction. Pour Peirce (2002), l'abduction désigne « le processus qui consiste à former une hypothèse explicative » (p. 401) et « le seul processus par lequel un nouvel élément peut être introduit dans la pensée » (p. 414) ou encore la « conjecture sans force probante, fondée sur une hypothèse tirée de l'expérience » (Peirce, 1867, p.7; cité par Moreau *et al.* 2005, p. 3).

Le raisonnement abductif ou inférentiel s'appuie sur 1- une loi qui permet d'inférer des conclusions à partir d'une hypothèse clairement formulée et 2- le constat que ces conclusions sont des indices suffisants pour remonter à l'hypothèse en la considérant comme étant plausible. Pour illustrer le raisonnement par abduction, David (1999) reprend l'exemple de la rue mouillée :

- une hypothèse explicative est construite par abduction pour rendre compte de données posant problème (j'observe que la rue est mouillée et je cherche une explication : il pleut, la balayeuse est passée, etc.);
- les conséquences possibles de cette hypothèse sont explorées par déduction (s'il pleut, non seulement la rue est mouillée mais aussi les trottoirs et les vitres chez moi; si la balayeuse est passée, seule la rue est mouillée mais alors nous sommes l'après-midi, etc.);
- l'induction permet une mise à jour (confirmation ou infirmation) des règles et théories mobilisées (lorsqu'il pleut, la rue est mouillée, la balayeuse ne passe jamais le matin, etc.);
- si ces règles sont infirmées, alors il faut reformuler, par abduction, de nouvelles hypothèses explicatives, et le cycle recommence. (p. 3)

Les indices recueillis par les sens jouent un rôle dans le processus d'abduction. Desclés et Guentcheva (1997) proposent cette explication : « Souvent un énonciateur prend en charge un contenu non pas à partir d'un constat ou d'énonciations rapportées ou médiatisées par des tiers ou par les ouï-dire, mais seulement à partir d'indices constatés (soit par la vue, soit par le toucher, soit par l'ouïe, soit encore par les odeurs) ou à partir d'indices cognitifs qui rendent plausible le contenu prédicatif et permettent ainsi à l'énonciateur de l'assumer partiellement en signalant cependant la médiation par des indices » (p. 15).

L'interaction cyclique des raisonnements déductif, inductif et abductif dépasse l'opposition historique des démarches inductives aux démarches hypothético-déductives. À ce propos, David (1999) considère que toute recherche emprunte « une boucle récursive » comportant une abduction, une déduction et une induction. Pellissier-Tanon (2001) reprend les idées de Peirce : « L'apport de Peirce est de concevoir le raisonnement scientifique comme l'articulation d'une abduction avec une déduction et une induction, partant, le progrès de la science comme le déroulement indéfini de ce cycle » (p. 3). Moreau *et al.* (2005) précisent : « La démarche de la quête scientifique est donc la suivante : L'abduction produit des hypothèses

interprétatives qui sont colligées par déduction en lois nécessaires, lesquelles sont soumises par induction à des tests expérimentaux par anticipation de phénomènes illégitimes » (p. 193). L'abduction donne collectivement un sens aux expériences inattendues en formant des hypothèses susceptibles d'être vérifiées. Dans cette perspective, la *sérendipité* consiste à transformer l'inattendu en attente d'une expérimentation. Pour Peirce, la sérendipité est toujours un résultat de l'abduction : « l'incapacité à produire des hypothèses créatrices renvoie à l'inaptitude à chercher et à découvrir » (Moreau *et al.*, 2005, p. 194).

À l'origine de l'abduction, il y a la surprise et l'étonnement. L'abduction est une « procédure de normalisation » d'un fait surprenant. C'est un raisonnement « imaginaire » qui fait appel à nos connaissances. Catellin (2004) traduit la pensée de Peirce : « L'abduction s'inscrit dans une logique de procès et non dans une logique de calcul, elle renvoie à un contexte et à une culture, à un *habitus* social » (p. 181).

Dans un contexte d'apprentissage des sciences, les diverses formes de raisonnement s'opèrent en boucle. Le raisonnement scientifique mobilise de nombreuses habiletés cognitives qui se développent dès le jeune âge. La prochaine section fait la lumière sur le raisonnement scientifique chez l'enfant.

2.3.3.3 Le raisonnement scientifique chez l'enfant

Le raisonnement scientifique se rapporte à un processus mental utilisé dans un contexte scientifique. Dunbar et Fugelsang (2005) écrivent : « La pensée scientifique désigne les processus mentaux utilisés lors de raisonnements sur le contenu de la science (p. ex., la force physique), effectués lors d'activités scientifiques typiques (par exemple, des expérimentations), ou certains types de raisonnement qui sont fréquemment utilisés en science (p. ex., déduire qu'il y a une planète au-delà de

Pluton)⁴¹ » (p.705). De plus, le raisonnement scientifique implique plusieurs opérations mentales effectuées aussi dans des domaines non scientifiques tels l'induction, la déduction, le raisonnement analogique, la résolution de problèmes, et le raisonnement causal.

Le raisonnement scientifique implique à la fois la compréhension conceptuelle et l'habileté à investiguer; il comporte l'habileté à penser, l'expérimentation, l'évaluation de l'évidence, l'inférence et l'argumentation. Zimmerman (2007) précise que l'investigation scientifique nécessite de nombreuses habiletés cognitives : se poser des questions, émettre des hypothèses, planifier des expérimentations, faire des prédictions, utiliser des appareils, observer, mesurer, faire preuve de rigueur et de précision, enregistrer et interpréter des données, évaluer la preuve, réagir aux contradictions et aux données discordantes, présenter et évaluer des arguments, construire des explications, faire des statistiques, faire des inférences, réviser des modèles.

Kuhn et ses collaborateurs (1988) ajoutent aux habiletés cognitives que sont l'investigation, l'analyse, l'inférence, la revendication et l'argumentation, des habiletés métacognitives telles que la compréhension des processus de la connaissance et la prise de conscience de la valeur de la connaissance. Pour Kuhn et son équipe (1988), la capacité à coordonner les théories et la preuve serait le point central de la pensée scientifique. En plus des compétences liées à l'investigation scientifique, d'autres modes de pensée sont utilisés aussi bien lors d'apprentissages généraux qu'à propos de savoirs scientifiques, comme l'induction, la déduction et l'abduction ou encore les raisonnements par analogie et par causalité.

⁴¹ « Scientific thinking refers to the mental processes used when reasoning about the content of science (e.g., force in physics), engaged in typical scientific activities (e.g., designing experiments), or specific types of reasoning that are frequently used in science (e.g., deducing that there is a planet beyond Pluto) » (p. 705).

Le développement du raisonnement chez l'enfant a longtemps été considéré comme le passage d'une pensée égocentrique et intuitive à une pensée rationnelle chez l'adulte. Toutefois, des travaux plus récents ont mis en évidence des capacités de raisonnement chez l'enfant ainsi que des limites du rationalisme du raisonnement adulte (Cheng et Holyoak, 1985). Dans le même ordre d'idées, Brown *et al.* (1983) considèrent l'enfant comme un « petit scientifique » et un penseur constructif et actif dans ses apprentissages.

Les enfants sont des chercheurs, ils développent leurs propres théories au sujet du monde qui les entoure et ils soumettent continuellement leurs théories à des tests, même en l'absence de rétroactions externes [...] Les enfants jouent avec leur savoir en développement. Ils s'engagent spontanément dans des activités qui augmentent et raffinent leurs connaissances, argumentant avec eux-mêmes à l'aide d'un dialogue interne. Ils remettent en question la véracité des niveaux d'application de leurs théories, ils réussissent à comprendre par le biais de l'expérimentation, ils questionnent leurs propres hypothèses de base, ils fournissent des contre-exemples à leurs propres règles et ils raisonnent sur la base de leur propre savoir, même si ce savoir est parfois incomplet, ou repose sur une logique défectueuse⁴². (p. 31-32, cité par Flavell, 1992, p. 998-999)

Toussaint et Gréa (1996) reconnaissent que la démarche expérimentale n'est pas le seul mode de raisonnement mis en œuvre en sciences. Ils présentent six modes de raisonnement élémentaire : le raisonnement inductif, le raisonnement déductif, le raisonnement analogique, le raisonnement causal, le raisonnement dialectique et le raisonnement divergent. Le raisonnement dialectique met en relation des faits disjoints pour construire un énoncé nouveau et le raisonnement divergent consiste à produire des relations nouvelles (plus générales) à partir d'éléments considérés

⁴² Traduction libre de « Children are knowledge seekers, they develop their own theories about the world around them, and continually subject their theories to tests, even in the absence of external feedbacks [...] Children play with their developing knowledge. They engage in knowledge-extending and knowledge-refining activities spontaneously, arguing with themselves via an internal dialogue. They question the veracity of range of applicability of their theories, they perform thought experiments, question their own basic assumptions, provide counterexamples to their own rules, and reason on the basis of whatever knowledge they have, even though it may be incomplete, or their logic may be faulty » (p. 31-32).

comme indépendants. Selon Toussaint et Gréa (1996), ces deux derniers raisonnements s'appliquent en littérature et en mathématiques mais sont moins courants en physique ou chimie, par exemple.

Pour illustrer le raisonnement inductif, Toussaint et Gréa (1996) donnent en exemple : « À partir d'observations d'un bouchon qui flotte, d'une pierre qui coule, d'un morceau de bois qui flotte, d'un objet en plastique rigide qui coule, etc., l'élève doit penser à l'énoncé englobant « tout corps plongé dans un liquide ... » c'est-à-dire l'énoncé du principe d'Archimède » (p. 106). Ils établissent les limites de l'inductivisme « naïf » manifesté chez les élèves dû au grand nombre de faits d'expérience qui permettent l'émergence de théories et l'impossibilité pour un élève de construire lui-même les éléments d'une théorie. Quant au raisonnement déductif, il serait trop éloigné des capacités des élèves puisque cette démarche est initiée par l'énonciation d'axiomes et exige l'élaboration de modèles.

Pour Toussaint et Gréa (1996), le raisonnement causal se raffine graduellement en fonction du développement cognitif des enfants : il débute par des observations de « relations entre objets fortuites, magiques et finalistes » (p. 272) et se raffine petit à petit vers une causalité externe qui associe une ou plusieurs actions à un effet puis vers une causalité interne qui relie deux ou plusieurs grandeurs physiques. Selon Wellmann et Gelman (1992), les enfants manifesteraient trois types de raisonnement causal : « [...] dans le cas de la physique naïve qui met en jeu la causalité des forces mécaniques; dans le cas de la psychologie naïve liée à la causalité de la croyance et du désir; et dans le cas de biologie naïve dont la causalité agit dans les fonctions biologiques ⁴³ » (p. 367, cités par Russ, Scherr, Hammer et Mikeska, 2007, p. 4). Plus

⁴³ Traduction libre de « [...] in the case of naïve physics a kernel sense of mechanical forces; in the case of naïve psychology a kernel sense of belief-desire causation; and in the case of naïve biology a kernel sense of biological functions » (p. 4).

récemment, Russ, Coffey, Hammer et Hutchison (2008) ont peaufiné la définition du raisonnement causal opéré fréquemment par les jeunes élèves en classe de sciences. Pour ces auteurs, le raisonnement mécaniste⁴⁴ désigne les explications causales d'un phénomène mais en plus, ces dernières seraient renforcées par la description du mécanisme de causalité. En d'autres mots, le raisonnement causal dépasse la relation de cause à effet mais permet aussi de décrire comment la cause provoque l'effet. Pour Russ *et al.* (2007), le raisonnement mécaniste se caractérise par les critères suivants : 1- il n'est pas téléologique; 2- il est causal; 3- il est construit à partir de l'expérience; 4- il décrit les composantes sous-jacentes d'un système (*underlying or relevant structure*) (p. 507). Se référant au développement de la pensée scientifique à travers l'histoire et la philosophie des sciences, les auteurs ont basé leur étude sur la philosophie mécanique (*mechanical philosophy*) des 16^e et 17^e siècles (Descartes, Galilée), puis sur la pensée de Newton et les scientifiques contemporains. Ils citent Machamer, Darden et Craver (2000) pour qui les mécanismes sont des « series of activities of entities that bring about the finish of termination conditions (from the set-up conditions) in a regular way » (p.7). Ces auteurs ont construit un instrument d'analyse du discours et des raisonnements mécanistes à partir de neuf codes dont la description de la cible, l'identification des conditions, des entités, des activités, etc. En bref, ces auteurs décortiquent le raisonnement causal des élèves en précisant les composantes mécanistes de cette forme de raisonnement. À l'instar de Toussaint et Gréa (1996), Russ *et al.* (2008) admettent que le raisonnement mécaniste est lié à d'autres formes de raisonnement, et de façon substantielle au raisonnement causal et au *model-based reasoning* qui s'apparente au raisonnement analogique.

Ce dernier type de raisonnement qu'est le raisonnement analogique transpose une relation efficace dans un domaine connu vers un domaine inconnu et se repère

⁴⁴ Traduction libre de « mechanistic reasoning ».

souvent par l'expression « c'est comme... » (Toussaint et Gréa, 1996, p. 106). Ce type de raisonnement est présenté de façon plus exhaustive dans la prochaine section de ce chapitre.

2.3.4 Le raisonnement analogique

Aristote définissait le raisonnement par analogie par la donnée de quatre termes : A, B, C, D tels que B est à A ce que D est à C. Chien-Niche, Homme-Maison représente l'identité classique de la proportion $B : A = D : C$. Cette vision, encore partiellement en vigueur dans les domaines des tests, a cédé la place à une appréhension plus globale du raisonnement qui implique non pas quatre termes mais deux situations. Par ailleurs, les tests développés par Gentner (1988) et Goswami (1992) démontrent que le développement cognitif influe sur les habiletés de raisonnement analogique. Ces tests consistent, entre autres, à présenter aux enfants des métaphores et à leur demander de choisir la meilleure interprétation; par exemple, dans le cas de *la tige d'une plante est comme une paille*, l'élève choisit entre *les deux transportent de l'eau* (fonction) ou *les deux sont longues* (structure).

Un raisonnement par analogie repose sur une situation connue, dite source, et une situation inconnue ou mal connue, dite cible. Il se caractérise par l'appréhension de la cible dans les termes de la source : ce n'est donc pas uniquement une relation, mais un ensemble de relations, qui peuvent être partagées (Sander, 2006). Le raisonnement analogique est un processus qui consiste à utiliser les ressemblances et les dissemblances entre deux domaines différents afin de transposer (ou d'importer) les résultats connus de la source vers la cible. L'analogie peut porter d'une part, sur des objets ou des systèmes et d'autre part, sur des situations problématiques. La figure 2.4 illustre les composantes du raisonnement analogique (Holyoak, 2005).

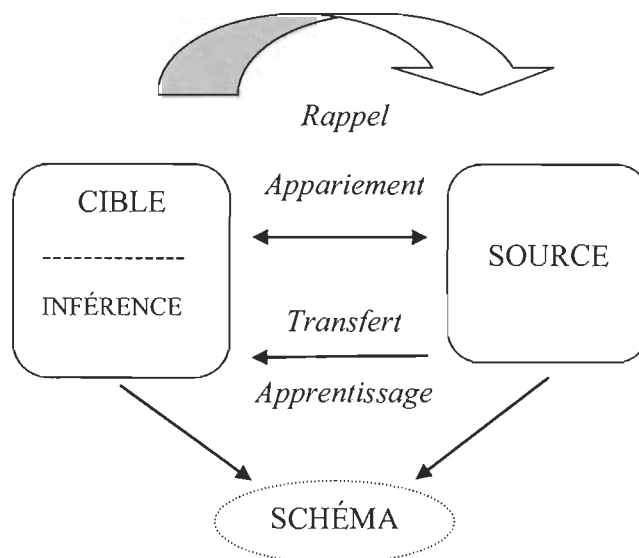


Figure 2.4 Composantes du raisonnement analogique (Holyoak, 2005)

Gineste (1997) précise que le raisonnement analogique est un processus d'inférences de ressemblances entre deux objets, deux domaines, deux situations ou deux problèmes. Elle énumère les nombreux termes utilisés pour dénommer le raisonnement analogique : inférence analogique, argument par analogie, analogie prédictive et conclut elle aussi qu'en dépit de la diversité terminologique, c'est un même ensemble d'activités mentales qui sont désignées par ces différents termes.

Le raisonnement analogique s'opère de façon spontanée (Jakobson et Wickman, 2007; Laliberté, 1995; Richard, 2004), et il peut être provoqué par des contextes choisis (Martinand, 1992, 2002; Orange, 1997; Treagust, 1993) ou être utilisé comme instrument de persuasion (Spellmann et Holyoak, 1992). Dans le premier cas, le raisonnement analogique répond à la tendance naturelle à comparer sans cesse pour produire du sens (Passeron, 1991). Il est considéré comme un « instrument psychologique » au service de la conceptualisation (Vygotski, 1930/1985). Lorsque le raisonnement analogique est induit, il joue un rôle didactique.

2.3.4.1 Un instrument didactique

En enseignement des sciences, le recours à l'analogie est reconnu pour faciliter la compréhension de concepts qui mettent en jeu la pensée abstraite. Son application a fait ses preuves dans plusieurs milieux scolaires. Cependant, cette stratégie pédagogique comporte des limites connues et il est essentiel d'en connaître les mécanismes afin d'éviter les pièges. Bien connaître la source, définir les attributs communs et ceux qui ne le sont pas, varier les analogies, discuter des points de rupture constituent des stratégies qui favorisent son efficacité pédagogique. Le modèle *Focus Action Reflection- FAR* de Treagust et ses collaborateurs (1993, 2008) et le modèle *Teaching-With-Analogies- TWA* de Glynn (1991) sont des exemples pratiques de l'usage réfléchi des analogies en enseignement des sciences. L'efficacité de l'utilisation d'une analogie repose sur la capacité des élèves à percevoir et à interpréter adéquatement les similarités entre les deux situations (Harrison et De Jong, 2005). Le raisonnement analogique s'effectue lorsque l'élève opère la « disjonction métaphorique » (Jeanneret, 1991).

Joshua et Dupin (1989) ont démontré l'efficacité pédagogique de l'analogie en créant des « ponts conceptuels » avec des élèves de niveau collégial français dans une situation d'apprentissage en électricité. Cette idée a été retenue par Clement (1988, 1993) qui a proposé, dans un contexte d'exploration du concept de force, une approche qui permet de développer des « ponts cognitifs » (*bridging analogies*) ou « analogies intermédiaires » entre la conception initiale et celle à apprendre afin de réduire le « saut » entre celles-ci. Cependant, ces « ponts » ne seraient efficaces que pour les situations dont les points d'ancrage sont repérables (Duit, 1991). Dans la même optique, une étude récente menée par Gadgil *et al.* (2012) prône une approche non radicale de révision du modèle mental (*holistic confrontation*) en faisant comparer à des élèves universitaires leur schéma personnel de la circulation sanguine

avec un schéma dit « expert ». Ainsi, l'utilisation de schémas de plus en plus précis permet aux élèves de dépasser leurs conceptions initiales.

Le raisonnement par analogie joue un rôle dans la découverte scientifique. À ce propos, Bunge (1975, cité par Oléron, 1977) confirme que la pensée scientifique n'exclut pas le raisonnement par analogie et mentionne trois usages : en tant qu'outil heuristique (trouver de nouvelles lois et théories), en tant qu'instrument de calcul (résolution de problèmes à l'aide de modèles analogiques) et en tant que méthode expérimentale (utilisation de répliques ou maquettes pour effectuer des contrôles techniques). Ainsi, la modélisation consiste à représenter un phénomène scientifique à l'aide d'un modèle analogique. De Vecchi (2006) définit le modèle analogique comme étant une représentation simplifiée de la réalité. Un modèle analogique représente un système avec différents constituants ainsi que des relations qui les unissent. Ces éléments s'apparentent aux objets observés (p. ex., les données de la circulation de l'eau dans une tuyauterie et celles du courant dans un circuit électrique, le fonctionnement d'un moteur à piston et celui du cœur, la mémoire d'un ordinateur et celle du cerveau humain, etc.). Il existe différents modèles analogiques, tels que le modèle iconique qui est une représentation analogique et pictographique d'une réalité (p. ex., une photographie, un film, une simulation par ordinateur), le modèle concret ou modèle physique qui est une représentation matérielle d'une réalité (p. ex., une fusée miniature, la maquette d'un édifice, etc.) ou encore le modèle symbolique.

Le schéma suivant, proposé par Orange (1997), illustre la mise en relation du registre empirique (externe) et explicatif (interne) d'un modèle analogique.

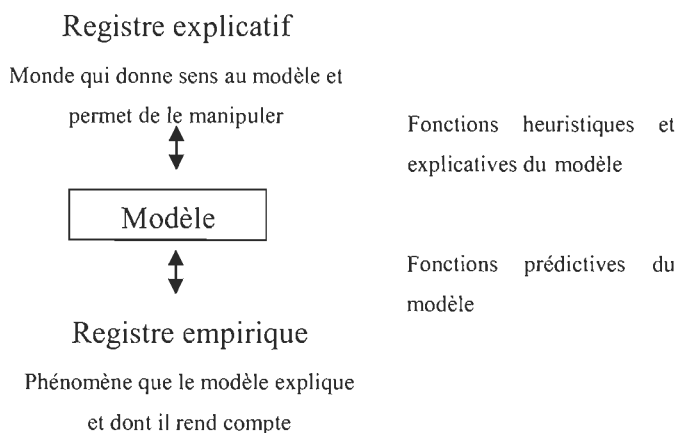


Figure 2.5 Le modèle comme mise en correspondance d'un registre explicatif et d'un registre empirique (Orange, 1997)

Le registre empirique correspond aux phénomènes que le modèle explique et dont il rend compte tandis que le registre explicatif ou la « matrice cognitive » donne sens au modèle et permet de le manipuler intellectuellement; il se réfère aux paradigmes épistémiques et aux ressources théoriques (Martinand, 1992, 2002; Orange, 1997).

Selon Larcher (1996), la modélisation est une démarche qui consiste à élaborer en référence à un réel complexe, une construction mentale nouvelle « manipulable » en vue d'assurer une fonction explicite. Elle est, en ce sens, une étape incontournable à la fois dans le processus même de construction de connaissances scientifiques et lors de l'utilisation de ces connaissances. Ainsi, la modélisation fait appel aux ressources cognitives. Elle est une construction intellectuelle et vise le dépassement du réel pour construire une abstraction ou un « modèle explicatif abstrait » (De Vecchi, 2006, p. 217).

Host (1989) définit la notion de modèle : « Un modèle est une construction de l'esprit qui se substitue à l'objet réel pour l'ensemble des opérations intellectuelles qu'on peut effectuer sur ce dernier (déduction, analyse, synthèse, application) » (cité par

Astolfi *et al.*, 1998/2006, p.237). La prochaine section précise le rôle cognitif du raisonnement analogique et explicite le raisonnement basé sur la modélisation (*model-based reasoning*) (Nersessian, 1998, 1999, 2008b).

2.3.4.2 Une stratégie cognitive

Dans le processus d'apprentissage, le raisonnement analogique joue un rôle dans la création de nouveaux schèmes et dans le transfert de structures d'un domaine source à un domaine cible. Les analogies concrétisent et familiarisent la nouvelle information, elles aident à restructurer les données de la mémoire déjà structurées et préparent à la nouvelle information. Ces opérations cognitives correspondent à l'assimilation piagétienne.

Le raisonnement basé sur la modélisation (*model-based reasoning*) désigne la représentation mentale d'un phénomène ou d'un système (Nersessian, 2008b). Cette élaboration représentative forme « un couplage de représentations internes-externes » qui s'apparente aux deux registres schématisés par Orange (1997). Dans les deux cas, le raisonnement analogique construit des liens entre les dimensions conceptuelles et les dimensions expérimentales.

Nersessian et Chandrasekharan (2009) suggèrent de « combiner les champs d'étude du raisonnement analogique, de la représentation visuelle (*imagery*), de la modélisation mentale et du changement conceptuel » (p.179). Ils définissent trois formes de raisonnement basé sur la modélisation (*model-based reasoning*) : 1- la modélisation analogique par la création d'analogies 2- la modélisation visuelle par l'utilisation de représentations visuelles externes et 3- l'expérimentation. Nersessian (1998) suggère de considérer le raisonnement analogique non pas comme étant un argument mais plutôt, comme étant la construction mentale d'un modèle. Le cœur de

l'analogie utilise une abstraction générique au service de la construction d'un modèle, d'une manipulation et d'une évaluation. C'est une forme puissante de raisonnement lorsqu'un nombre suffisant de contraintes est intégré au processus de raisonnement.

Pour Nersessian (2002), « les modélisations analogiques, visuelles et expérimentales possèdent un grand pouvoir d'abstraction, permettent de dépasser les contraintes linguistiques et de générer le changement conceptuel en science » (p. 153). Le changement conceptuel est le résultat d'un processus de construction de modèle qui implique plusieurs formes d'abstraction (cas limite, idéalisation, généralisation, abstraction générique), de contraintes de satisfaction, d'adaptation, de simulation et d'évaluation. Pour s'engager dans cette pratique, le scientifique a besoin de connaître les principes générateurs et les contraintes pour les modèles physiques, dans un ou plusieurs domaines. Les nouvelles représentations sont créées à partir de celles qui existent déjà à travers un processus qui fait l'abstraction et intègre la source et la cible dans les deux modèles (Nersessian, 1998).

Ainsi, le raisonnement analogique joue un rôle central dans le processus de continuité et la nature non cumulative du changement conceptuel. Selon Nersessian (1998, 2008a), la nature de l'utilisation créative des analogies dans le changement conceptuel en science a besoin d'être mieux compris. Il faut dépasser l'usage d'analogies préparées à l'avance et le fait de faire la correspondance des attributs communs avec le domaine nouveau. Il faut plutôt construire, modifier, et imaginer des analogues nouveaux formés en interaction avec les contraintes du domaine d'investigation du problème à l'étude. L'imagination joue donc un rôle essentiel dans le raisonnement analogique. Le pouvoir cognitif de cette forme de raisonnement dépend de la créativité de ses attributs et de l'inventivité de son concepteur.

La métaphore, proche parente de l'analogie, se réfère aussi à la comparaison imagée de concepts connus et inconnus. Ce qui les distingue, c'est que la métaphore compare, mais de façon implicite et abrégée. Jakobson et Wickam (2007), dans une étude sur les métaphores exprimées spontanément par des enfants en classe de sciences, définissent la métaphore ainsi : « a figure of speech in which a word or phrase literally denoting one kind of object or idea is used in place of another to suggest a likeness or analogy between them » (p. 267). Selon Gineste (1997), la métaphore aurait une fonction poétique et non référentielle, ce qui s'oppose à Indurkha (2007) qui affirme que les métaphores sont des outils de raisonnement dotés de rationalité, ce qu'il démontre à l'aide d'un modèle computationnel. La métaphore est plus qu'une parure verbale; elle est essentielle en apprentissage puisqu'elle permet d'appréhender un nouveau domaine en empruntant des termes dans un domaine connu dont le vocabulaire est plus riche. Pour Gentner, Bowdle, Wolff et Boronat (2001), la métaphore, tout comme l'analogie, est utilisée à des fins explicatives et prédictives et elle recèle une grande part d'expressivité et d'affectivité (*expressive-affective purposes*) (p. 240).

En raison de son caractère incertain, le raisonnement analogique n'a pas toujours été valorisé par la communauté scientifique. Weil-Barais (2001) déduit la disqualification du raisonnement analogique (en rapport au raisonnement canonique) par le fait qu'il a été étudié à partir de normes et non à des fins de la compréhension de son mode de fonctionnement. Une meilleure connaissance du raisonnement analogique permet de comprendre que la pensée humaine peut être aussi efficace alors qu'elle utilise un ensemble très limité de règles d'inférence.

Toutefois, dans une étude moins récente, Cauzinille-Marmèche, Mathieu et Weil-Barais (1985) soulignaient les difficultés liées à l'usage de l'analogie en résolution de problèmes, par exemple, la nécessaire isomorphie des problèmes à résoudre et les

limites de son pouvoir de généralisation. L'équipe de recherche conclut quand même qu' « il semble même exister un consensus quant au fait que le raisonnement analogique joue un rôle fondamental dans la résolution de problèmes et dans la construction de connaissances » (p.69).

Ce qui importe, c'est la puissance inventive du raisonnement analogique; c'est sa valeur heuristique de découverte qui en justifie la pertinence. Le caractère provisoire et plausible du raisonnement analogique ne diminue en rien sa valeur cognitive et son rôle potentiel dans le changement conceptuel en apprentissage des sciences.

Afin de mieux saisir la valeur cognitive du raisonnement analogique exprimé par l'usage de l'analogie ou de la métaphore, une présentation sommaire des mécanismes du raisonnement analogique est faite dans la prochaine section.

2.3.4.3 Un processus et des modèles théoriques

Sternberg (1977) a identifié cinq phases des opérations mentales mises en jeu lors du raisonnement analogique : l'évocation (ou encodage), l'inférence, la mise en correspondance, l'application et l'évaluation (ou justification). Selon lui, les processus d'encodage et d'inférence seraient assez précoces (enfants de 8 à 12 ans). Au sujet de ces étapes, Clement (1983, cité par Cauzinille-Marmèche *et al.*, 1985) affirme que ce processus n'est pas linéaire et se mêle à d'autres types de raisonnements. Pour lui, chaque étape du raisonnement analogique prend des formes multiples dès qu'il est utilisé dans la résolution de problèmes complexes et de plus, il peut varier d'un sujet à l'autre.

Deux modèles théoriques se confrontent : le premier est basé sur la structure des similitudes (Gentner, 1988; Markman et Gentner, 2000) et considère l'analogie comme une stratégie cognitive mise en œuvre au moment du traitement

d'informations ou de situations nécessitant la mobilisation de connaissances antérieures. Le deuxième, basé sur la pragmatique (Holyoak et Thagard, 1989), considère l'analogie comme une forme d'induction et une heuristique de résolution de problèmes ou encore un transfert de connaissances d'une situation à une autre (cité par Sander, 2000).

Le modèle *Structure Mapping Engine* – *SME* de Gentner (1983) met l'accent sur l'étape de la mise en correspondance. Ce processus d'appariement entre la source et la cible basé sur la structure des attributs communs détermine la valeur du raisonnement analogique. À titre d'exemple, la représentation graphique de la comparaison du système solaire et de l'atome d'hydrogène illustre les similitudes et les dissemblances de ces deux modèles. Ainsi, les caractéristiques structurales de surface auraient une valeur moindre que des attributs profonds (relations de dépendance interne au sein de la source).

Le modèle d'Holyoak se caractérise par la place impartie à la notion de schéma qui justifie et guide le transfert analogique en situation de résolution de problèmes. L'intérêt de cette conception repose sur deux caractéristiques de la démarche : la précision avec laquelle il décrit les processus d'inférence analogique et l'importance accordée à la notion de niveau de généralité et d'abstraction auquel est représenté un problème particulier. Selon Gineste (1997), malgré leurs différences au niveau de la description des fonctionnements cognitifs, ces deux modèles ont des points communs : ils analysent les processus d'accès aux informations anciennes et analogues, les processus de transfert des propriétés et les processus d'évaluation après le transfert. Quant à Ripoll (1992), dans une analyse sur les difficultés théoriques liées à la recherche sur le raisonnement analogique, il conclut que les deux modèles présentent le raisonnement analogique comme une méthode de résolution très générale, non limitée à un domaine particulier de connaissances.

D'autres chercheurs s'intéressent principalement à l'étape de l'évocation ou d'encodage (Sander, 2000; Sternberg, 1977). Selon eux, l'accès à la source est primordial puisque celle-ci est déjà connue. Sander (2000) écrit : « Mais comment peut-il y avoir correspondance quand on ne connaît pas la cible? » (p. 50). Tout comme Sternberg (1977), ce chercheur, dans une étude des conditions de réussite de l'analogie, accorde une grande importance au mécanisme de l'encodage susceptible d'intervenir dès la construction d'une représentation de la cible.

En somme, les modèles computationnels ont permis de décrire les étapes et les mécanismes du raisonnement analogique. Dans le cadre de cette recherche, l'analyse du raisonnement analogique s'effectue lors de l'exploration scientifique du phénomène de la flottaison. L'évocation de situations semblables ou de concepts connus aidera les élèves à comprendre le phénomène de la flottaison. La mise en correspondance des attributs communs entre la source et la cible permettra l'analyse des raisonnements analogiques exprimés par les élèves. Aussi, plusieurs chercheurs ont développé des systèmes de catégorisation des analogies. Ceux-ci seront présentés dans le chapitre qui traite de la méthodologie.

En conclusion, les liens entre le raisonnement analogique et le changement conceptuel confirment le choix d'en faire le leitmotiv de cette recherche. Le recours à des savoirs connus et analogues pour introduire de nouvelles connaissances unit ces deux concepts. La fusion des deux processus permet d'élucider la construction de concepts scientifiques chez les jeunes élèves qui ont participé à cette recherche.

2.4 Conclusion

Le cadre théorique de notre étude comporte plusieurs éléments conceptuels dont la matrice est la cognition distribuée. La didactique des sciences englobe de multiples

facettes, ce qui justifie la complexité du cadre et la relation dynamique de ces composantes conceptuelles. La didactique et l'épistémologie sont fortement liées : toutes deux s'intéressent au développement du savoir.

La cognition relève des domaines de la psychologie, de la psychosociologie et de l'épistémologie. Le raisonnement scientifique s'opère selon plusieurs formes telles que les raisonnements déductif, inductif, abductif, causal et analogique. Le raisonnement analogique est un instrument didactique lorsqu'il est provoqué par la modélisation, la schématisation ou la résolution de problèmes isomorphes. Il constitue aussi une stratégie cognitive lorsqu'il est exprimé intuitivement et spontanément. Dans ce cas, il se caractérise par son potentiel de systématisme entre des éléments connus et des éléments à connaître. Le raisonnement analogique spontané fait l'objet de notre étude et son potentiel cognitif constitue notre principal intérêt. Appuyée par les travaux de Nersessian (1998, 1999, 2008b) au sujet du raisonnement basé sur la modélisation (*model-based reasoning*), notre étude met en valeur la construction d'un modèle mental par le biais de l'expérimentation. Le raisonnement analogique possède ainsi un potentiel d'activation du changement conceptuel.

Notre étude du changement conceptuel intentionnel se distingue de l'approche psychopédagogique privilégiée par les précurseurs de la tendance « chaude ». L'intentionnalité, selon le philosophe Searle (1985), désigne le rapport entre l'esprit et le monde. Les états mentaux, conscients ou inconscients, forment un réseau complexe qui détermine nos actions. Les croyances épistémiques et les émotions cognitives contribuent au processus de changement conceptuel. Elles influencent l'engagement cognitif des élèves.

En bref, le processus de changement conceptuel intentionnel est activé par les raisonnements analogiques et influencé par l'épistémologie personnelle, laquelle est formée de croyances épistémiques et d'émotions cognitives. Notre étude en didactique des sciences, s'inscrit dans une approche « chaude » du changement conceptuel en prenant en compte des composantes épistémologiques, contextuelles et cognitives.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre décrit la méthodologie de la recherche. Compte tenu du fait que notre étude comporte trois pôles majeurs : le changement conceptuel, les croyances épistémiques et le raisonnement analogique, la méthodologie choisie et son opérationnalisation seront argumentées en fonction des approches méthodologiques utilisées dans ces trois domaines de recherche de la didactique des sciences.

Le point commun méthodologique des études qui portent sur le changement conceptuel, les croyances épistémiques et le raisonnement analogique se rapporte à la place accordée à l'observation des sujets et à l'opérationnalisation multi-instrumentale. Par conséquent, notre étude, inscrite dans un paradigme pragmatique, est multi-méthodologique ou « éclectique » (Savoie-Zajc, 2004). Elle privilégie l'observation à l'aide de divers instruments dans le but de décrire les relations entre l'épistémologie personnelle, le raisonnement et le changement conceptuel. Les stratégies méthodologiques choisies pour la conduite de notre étude comportent un questionnaire, en plus d'entretiens individuels et d'observations d'élèves en contexte de classe entière. Elles respectent les règles méthodologiques exigées dans l'application des formes variées de recueil d'informations (De Ketele et Roegiers, 2009).

La complémentarité des données recueillies justifie la particularité multi-méthodologique de notre étude. Il ne s'agit pas de corroborer les données assemblées, mais de les compléter afin de répondre avec le plus de précision possible aux questions de la recherche.

Ce chapitre présente donc les éléments méthodologiques suivants : certains fondements épistémologiques essentiels à l'édification de notre étude, diverses approches méthodologiques associées aux domaines qui nous intéressent, les modalités de l'opérationnalisation ainsi que le cadre d'analyse des données.

3.1 L'orientation épistémologique de la recherche

Notre étude se rattache au paradigme pragmatique, tel que défini par Tashakkori et Teddlie (1998, 2010). Le point de vue pragmatique rejette le choix forcé entre le positivisme (incluant le postpositivisme) et le constructivisme. Il se situe entre ces deux paradigmes antagonistes. Tashakkori et Teddlie (1998) qualifient ce paradigme de « reactive, debunking philosophy » (p. 23). Le pragmatisme relève de l'œcuménisme puisqu'il associe des paradigmes et des approches qui s'avèrent généralement opposés (Therriault et Harvey, 2011). Le paradigme pragmatiste combine des méthodes qualitatives et quantitatives, d'où l'appellation de méthodologie *mixte*. Il s'appuie sur une logique déductive et inductive. Eu égard à la logique déductive, l'utilisation d'un questionnaire fermé (Conley *et al.*, 2004) met à l'épreuve certaines hypothèses en lien avec les croyances épistémiques des élèves du primaire. D'autre part, l'analyse qualitative des discours des élèves, à l'aide de questions ouvertes issues des carnets scientifiques, du test *Dessine-moi un scientifique* et des entretiens individuels, s'appuie sur une logique inductive. Une étude inscrite dans le paradigme pragmatiste est donc construite selon un point de vue à la fois objectif et subjectif.

Pour Mertens (2010), l'agencement des procédés quantitatifs et qualitatifs assure la complémentarité des approches et des techniques ainsi que la corroboration des informations obtenues, tout en réduisant l'effet des biais. Une méthodologie *mixte* donne de meilleures chances de répondre aux questions de recherche et d'obtenir des

informations utiles et pertinentes, sans toutefois parvenir à générer des solutions parfaites (Mertens, 2010).

Dans le paradigme pragmatiste, les questions de recherche déterminent la méthodologie choisie. La recherche est guidée par « les conséquences anticipées en fonction du système de valeurs du chercheur » (Tashakkori et Teddlie, 1998, p. 27). Les choix pragmatiques au sujet de l'objet d'étude et comment conduire cette recherche sont conditionnés par le sens qu'on veut lui donner. Commenant par ce que le chercheur pense et désire comme conséquences, le pragmatiste fera le choix de comment chercher, quoi chercher et quoi faire. Du point de vue axiologique, les valeurs personnelles du chercheur jouent donc un rôle important dans l'interprétation des résultats. Les pragmatistes étudient ce qu'ils croient important d'étudier. Dans le cadre de notre étude sur la cognition enfantine et le changement conceptuel, la valeur accordée au potentiel cognitif et inventif des jeunes élèves guide la conduite et l'analyse des résultats de l'étude.

Selon la vision pragmatiste, une étude peut comporter des relations causales mais les variables ne peuvent jamais être isolées (Tashakkori et Teddlie, 1998)⁴⁵. Dans le cadre de notre recherche, le raisonnement analogique et les croyances épistémiques ne sont ni manipulés ni contrôlés afin d'en vérifier les effets sur le changement conceptuel. Cet aspect est particulièrement pertinent, compte tenu du fait que l'étude vise à comprendre l'incidence des raisonnements analogiques et des croyances épistémiques sur le changement conceptuel. Cette intention de compréhension indique que notre étude comporte aussi des caractéristiques rattachées au courant interprétatif.

⁴⁵ Pour Tashakkori et Teddlie (1998), « There may be causal relationships, but we will never be able to pin them down » (p. 23).

Notre recherche est associée au courant interprétatif puisqu'elle vise à comprendre le sens des énoncés des élèves en action dans leur milieu naturel (Savoie-Zajc, 2004). Elle respecte la condition proposée par Lessard-Hébert, Goyette et Boutin (1990) puisqu'elle a pour but de comprendre la signification ou l'interprétation donnée par les sujets eux-mêmes, souvent de façon implicite, aux événements qui les touchent et à leurs actions. Elle prend en compte « des intentions, des valeurs, des motivations et des stratégies des acteurs » (Savoie-Zajc, 2004, p. 125).

Notre étude se base sur les deux fondements de *l'interprétativisme* décrit par Miles et Huberman (2003) : la phénoménologie qui mène à une « compréhension en profondeur, à une empathie et à une investigation de l'intérieur avec le sujet à l'étude » et l'interactionnisme dont « l'interprétation vient à travers la compréhension d'actions de groupes ou d'interactions » (p. 22). La visée interprétative de notre étude se définit par la préoccupation de comprendre « la complexité, le détail et le contexte » (Anadón et Savoie-Zajc, 2009, p. 1).

Notre recherche ne s'inscrit pas dans une logique de preuve même si l'utilisation d'un questionnaire comportant des items variés implique une analyse statistique de données. Cette stratégie ne fait pas de l'étude une recherche quantitative puisqu'« une technique de recherche ne peut constituer une méthode de recherche » (Erickson, 1986). En somme, notre étude fait appel à un discours construit selon une théorie interprétative et la collecte de données quantifiables se situe au pôle strictement technique de la méthodologie.

En conclusion, notre étude s'inscrit dans un paradigme pragmatiste et regroupe diverses caractéristiques de la méthodologie qualitative/interprétative dont l'importance accordée à l'interaction des acteurs en situation d'enseignement-apprentissage, l'échantillonnage intentionnel, le design méthodologique en évolution

pendant le processus de recherche, la collecte de données par entrevues, par l'observation et par le recours aux matériaux écrits, l'analyse descriptive des données qui peut chevaucher la collecte de données, la démarche d'exploration inductive, l'ouverture à la découverte et la production d'un savoir contextuel où la réalité est considérée globale, construite et dynamique et où le chercheur subjectif veut comprendre (Savoie-Zajc, 2004).

Par ailleurs, le fait que notre étude ait été menée en salle de classe entière s'appuie sur les fondements de la cognition distribuée.

3.2 La cognition distribuée

Les fondements de la cognition distribuée justifient le choix d'une collecte de données qualitatives dans des situations réelles de classe. Notre étude a été conduite dans le contexte de la salle de classe qui favorise une collecte de données sur le vif et au cœur même de la vie quotidienne. Les données reflètent l'expression habituelle et la plus fréquente des jeunes élèves. Dans ce cadre exploratoire du processus de changement conceptuel, le respect de la spontanéité des enfants et l'authenticité de leurs raisonnements sont privilégiés. Notre étude inductive part de l'expérience réelle et vécue dans le milieu. Une observation a été faite auprès d'un groupe d'enfants d'un milieu particulier. Le savoir construit était enraciné dans une culture, dans un contexte, dans une temporalité. Il provenait de l'interaction des élèves et de leur environnement.

Dans le même ordre d'idées, notre étude s'appuie sur la méthode *de l'épistémologie pratique* telle que décrite par Jakobson et Wickman (2007) et Wickman (2004) et elle s'inspire de la méthode d'observation des *conceptions épistémiques en contexte* utilisée par Hofer (2004). En plus de mesurer l'épistémologie personnelle à l'aide de

données quantitatives (questionnaire fermé et analyses statistiques), des données qualitatives ont été recueillies en situation d'apprentissage (épistémologie en action).

L'observation occupe une place importante dans notre étude et le point suivant précise la forme et les modalités observationnelles retenues.

3.3 L'observation

Dans le cadre de notre étude, nous avons privilégié une approche interactionniste de l'activité de l'observation, telle que le décrit Laperrière (2009). Selon elle, « l'interférence/interaction entre observatrice et observé est indispensable dans le processus de production de données valides sur une situation sociale délimitée » (p. 315). L'observation participante *active* permet de comprendre de l'intérieur la nature et la complexité de la dynamique interactive du site de recherche et de saisir la perspective interne de l'objet d'observation (Lessard-Hébert *et al.*, 1990). L'observation participante dépasse la seule description des composantes d'une situation et elle vise à en repérer le sens, l'orientation et la dynamique. Cette forme d'observation privilégie « l'imprégnation » de l'objet d'observation sur l'observateur (Laperrière, 2009, p. 314)

La position de chercheur-acteur détermine les modalités d'entrée sur le terrain et le type de relation avec l'observé (Kohn et Nègre, 2003). Devereux (1980) mentionne qu'il est préférable d'intégrer le chercheur dans l'observation que de chercher à l'en éliminer par des manœuvres finalement défensives. Le chercheur doit occuper une place la moins dérangeante possible afin d'empêcher qu'il n'altère le déroulement des actions observées. Selon Laperrière (2009), la neutralité complète de l'observateur est impossible. Elle prône « l'insertion de l'observateur dans la subjectivité des acteurs »

(p. 314). Le meilleur moyen de parvenir à y pénétrer est de s'impliquer dans la situation étudiée, de la vivre en même temps que les observés.

Pour Laperrière (2009), les modes privilégiés d'appréhension du réel sont la distanciation et l'intersubjectivité. Bickman (1977) mentionne qu'un des risques de la participation active est de s'engager émotionnellement et de perdre de son objectivité. Cependant, un observateur qui fait partie intégrante du groupe qui s'y trouve depuis un laps de temps appréciable obtiendra des données qui ne seront pas superficielles ou fausses. Une observation de « première main » respecte le critère de « proximité des sources », physiquement et socialement parlant (Laperrière, 2009, p. 335). En rapport au biais relié aux sujets, Johnson et Bolstad (1973) précisent que les enfants sont moins conscients du fait qu'on les observe et que leur propension à réagir en est atténuée.

Afin d'assurer une certaine distanciation quant aux observations, un journal de bord a été tenu par la chercheuse. De plus, après chacune des visites des groupes observés, la chercheuse discutait avec l'équipe de filmage dont faisait partie une assistante de recherche, étudiante en enseignement préscolaire-primaire, afin de mettre en commun leurs observations issues de la séquence filmée, les difficultés techniques et les éléments importants liés aux objectifs de la recherche, tels que les propos des élèves, leur comportement, leurs réactions face aux explorations proposées, etc. Ces informations ont été consignées dans le journal de bord et elles ont complété les données prises sur le vif. Le fait de filmer les élèves a aussi assuré une certaine forme de distanciation puisque l'œil de la caméra capte la scène sans jugement sélectif.

Même si l'observation constitue la pièce principale de la matrice méthodologique élaborée dans notre recherche, il y a lieu de préciser les éléments méthodologiques choisis pour chacun des trois pôles majeurs de notre étude : le changement conceptuel,

les croyances épistémiques et le raisonnement analogique. Afin de circonscrire la méthode retenue (la méthode multi-instrumentale), quelques études marquantes seront présentées.

3.4 Le changement conceptuel

Bien que l'étude du changement conceptuel se soit déployée dans différents domaines tels que l'histoire (Limon, 2002), les mathématiques (Merenluoto et Lehtinen, 2002) ou encore dans l'analyse de la résistance des enseignants à une réforme de l'enseignement (Gregoire, 2003), nous nous intéressons surtout aux études menées en didactique des sciences (Carey, 1985; Chi, 2008; diSessa *et al.*, 2003; Posner *et al.*, 1982; Potvin et Thouin, 2003; Potvin *et al.*, 2012; Vosniadou, 2008).

Une recension réalisée par Treagust et Duit (2008) quant aux méthodes employées dans l'étude du changement conceptuel révèle la part importante d'une réflexion théorique s'inspirant des travaux en didactique, en psychologie, en épistémologie et en histoire des sciences. Cette réflexion issue des études théoriques constitue le socle de notre étude empirique du changement conceptuel. Afin de préciser notre choix méthodologique, nous présentons les études les plus marquantes et diverses façons de conduire les recherches empiriques sur le changement conceptuel.

L'équipe de Posner (1982) a conduit des entrevues au sujet de la relativité restreinte avec des étudiants universitaires et où ils effectuaient des résolutions de problèmes à haute voix en justifiant leurs réponses. Dans ce même champ disciplinaire, l'étude d'un seul cas a été faite par Hewson (1982). Ces études ont principalement démontré la résistance des élèves au changement conceptuel et la robustesse de leurs conceptions initiales.

Carey (1985) a utilisé une méthode dite de projection inductive afin de stimuler l'expression d'inférences chez de jeunes sujets et afin d'élucider la réorganisation de leur savoir naïf au sujet de la biologie. Elle a privilégié l'entretien clinique piagétien. Une analyse statistique des réponses a été faite afin d'examiner les variations entre les groupes d'âge et les réponses des enfants. D'après Carey, la biologie naïve et de la psychologie naïve (ou théorie de l'esprit) se développent conjointement chez les enfants.

Les études qui cherchent à décrire la structure psychologique fine des conceptions des élèves ainsi que leur évolution ont proposé des modèles théoriques issus de recherches descriptives empiriques. Ainsi, diSessa (1988) a développé l'idée des conceptions primitives phénoménologiques (*p-prims*) après avoir fait des analyses de données recueillies à l'aide d'environnements informatiques représentant des situations physiques manipulables par le sujet lors de la résolution de problèmes. D'autre part, le travail descriptif de Vosniadou est basé sur des entrevues auprès d'élèves de niveau primaire se rapportant au thème de l'astronomie (Vosniadou et Brewer, 1994). Des recherches empiriques à fonction vérificative ont été effectuées dans le domaine de la physique après la création de ces modèles. En d'autres mots, les modèles proposés par diSessa et Vosniadou en sont arrivés à un stade de comparaison empirique, de nature clairement vérificative (diSessa *et al.* 2004; Vosniadou, 2008).

Les recherches théoriques axées sur l'aspect ontologique du changement conceptuel visent à déterminer si les entités cognitives que sont les conceptions des sujets se conforment au modèle initial (Chi, 2008). Elles se déroulent en un seul temps. Au contraire, les recherches qui portent sur la dynamique de l'apprentissage, prennent le pouls de la pensée des élèves à plusieurs moments, soit par des études longitudinales (où les sujets sont interviewés à des intervalles de quelques mois, par exemple) ou

avec des sujets de différents niveaux de formation ou encore en expérimentant un module de formation en employant des pré-tests et post-tests et en comparant avec un groupe contrôle (Slotta et Chi, 2006). Des recherches micro-génétiques tentent de suivre systématiquement les apprentissages afin d'identifier les moments précis où les changements surviennent (Chinn, 2006).

L'entrevue clinique est largement répandue dans l'étude du changement conceptuel afin de recueillir du matériel empirique (Carey, 1985; diSessa, 1988; Posner *et al.*, 1982; Vosniadou et Brewer, 1994). Le type de tâche employée lors de l'entrevue est cependant variable : description ou explication d'un phénomène, résolution de problème, expérimentation et réflexion concomitante. L'entretien d'explicitation (Vermersch, 1994/2011) est privilégié par certains auteurs (Potvin et Riopel, 2006) qui ont pour objectif d'obtenir des verbalisations descriptives, des évocations des sujets et des intuitions mobilisées lors de la construction de modèles par les sujets.

Dans notre étude, la technique de l'entrevue a été utilisée afin d'observer la progression des conceptions des élèves. Ainsi, des entretiens individuels ont été effectués afin d'élucider les explications personnelles que les élèves ont consignées dans des carnets scientifiques. En plus de traces écrites et orales et parce que la cognition est distribuée, une collecte de données audiovisuelles a été faite dans un contexte de classe entière. Cette approche méthodologique vise à examiner l'engagement des élèves dans le processus de changement conceptuel lors de l'exploration du phénomène de la flottaison.

Les études actuelles qui portent sur le changement conceptuel cherchent à intégrer des facteurs d'intentionnalité. La prochaine section présente des études sur l'épistémologie personnelle et particulièrement la méthodologie utilisée.

3.5 Les croyances épistémiques ou l'épistémologie personnelle

Trois principales approches méthodologiques sont utilisées pour réaliser l'étude de l'épistémologie personnelle : l'utilisation de questionnaires ouverts ou fermés, l'entrevue semi-dirigée et la méthode de la réflexion parlée⁴⁶ (*think-aloud*) qui permet l'analyse des croyances épistémiques en contexte. Compte tenu des limites de chacune de ces approches, Moschner, Anshuetz, Wernke et Wagener (2008) ajoutent la stratégie multiméthodologique; par exemple, l'entrevue jumelée au questionnaire, ou encore l'observation associée à l'entrevue. Cette dernière approche a été retenue dans le cadre de notre étude.

3.5.1 Le questionnaire

Dans les questionnaires fermés, les construits sont parfois flous et difficiles à opérationnaliser. Selon Hofer et Pintrich (1997), le questionnaire conçu pour le niveau préuniversitaire par Schommer (1990) présente des lacunes au sujet des dimensions retenues, de la formulation de certains items et de l'indépendance des dimensions choisies. Cependant, cet instrument a inspiré plusieurs chercheurs dont une équipe qui l'a adapté à des élèves de 5^e année du primaire (Conley *et al.*, 2004). Burr et Hofer (2002) relèvent les limites des instruments de mesure de l'épistémologie personnelle de type questionnaire papier-crayon telles la difficulté d'opérationnaliser le concept de structure et l'inconsistance des dimensions. De plus, le facteur de cohérence ou de structure n'émergerait pas chez les jeunes élèves (Schommer, 1990; Schraw, Bendixen et Dunkle, 2002).

⁴⁶ Les chercheurs Postic et de Ketele (1994), dans leur ouvrage *Observer les situations éducatives*, ont traduit « think-aloud » par les termes « méthode de la réflexion parlée » ou « pensée à haute voix », typiques de la verbalisation concomitante à une tâche. (p. 133)



Afin d'évaluer les instruments de mesure des croyances épistémiques, De Backer, Crowson, Beesley, Thoma et Hestevold (2008) ont effectué une analyse factorielle (exploratoire et confirmatoire) de trois questionnaires administrés à des élèves de niveau préuniversitaire : 935 élèves ont répondu au questionnaire de Schommer (1990), 795 à l'*Epistemic Beliefs Inventory* (Schraw *et al.*, 2002) et autant d'élèves à l'*Epistemic Belief Survey* (Wood et Kardash, 2002). Ces chercheurs ont relevé dans les trois instruments certains problèmes psychométriques dont une faible consistance interne.

Pour Moschner *et al.* (2008), les questionnaires possèdent des avantages : ils sont faciles à utiliser et à analyser. Cependant, la validité des construits demeure questionnable et la compréhension de concepts abstraits par le jeune élève peut être incertaine, au niveau de la lecture et du sens attribué par le lecteur. Il est donc essentiel de s'assurer que les élèves comprennent bien les items.

Analyse des instruments conçus pour le primaire

Le questionnaire de Pintrich *et al.* (MLSQ, 1993) a été écarté dès les premières recensions d'instruments à cause de la multitude de construits, de la prédominance de facteurs motivationnels et de la difficulté de mesure des facteurs métacognitifs⁴⁷. De plus, la présente étude se situe dans le paradigme de l'épistémologie personnelle et non dans le domaine psychopédagogique.

L'instrument *Nature of Science Interview* ou NOS, utilisé par de nombreux chercheurs (Carey *et al.*, 1989; Kang, Scharmann et Noh, 2004; Smith *et al.*, 2000), comporte 21 questions qui traitent des buts de la science, des questions que le scientifique se pose, de la nature de l'expérimentation, du rôle des idées, de la preuve

⁴⁷ Voir chapitre 1 (section 1.3.1)

ou de la réfutation d'une hypothèse, du rôle des erreurs, et autres paramètres. Cette entrevue porte strictement sur la nature de la science (*knowledge*) et ne traite pas de la nature du processus d'acquisition de l'apprentissage (*knowing*). Le *Draw-a-scientist Test* (DAST) est un autre instrument largement employé afin d'évaluer la conception chez les jeunes élèves de la nature de la science. La valeur scientifique de cet instrument sera analysée plus loin.

Schraw *et al.*, (2002) ont conçu le questionnaire *Epistemic Beliefs Inventory* à partir de celui de Schommer. Il comporte 32 items dont plusieurs ont été créés par les chercheurs afin de mieux saisir les cinq dimensions épistémologiques définies par Schommer : la source (5 items), la simplicité (7 items) et la certitude du savoir (8 items), la vitesse (5 items) et les habiletés d'apprentissage (7 items). Plus particulièrement, ces chercheurs visaient à démontrer empiriquement le facteur lié à la source du savoir (qu'ils nomment Autorité omnisciente). Bendixen, Schraw et Dunkle (1998) ont réduit le nombre d'items à 28. Bien que leur analyse de la consistance interne ait donné de bons résultats (coefficient de ,58 à ,68), d'autres études ont noté que seules la simplicité, la certitude et les habiletés produisaient de bons rendements statistiques. De plus, les études qui utilisent ce questionnaire sont modestes (nombre limité de participants), ce qui atténue la généralisation des résultats.

Le questionnaire *Epistemic Belief Survey* créé par Wood et Kardash (2002) comporte 38 items classés dans cinq dimensions : la vitesse de l'acquisition du savoir (8 items), la structure du savoir (11 items), la construction et la modification du savoir (11 items), le succès des élèves (5 items) et le facteur de vérité (3 items). Selon De Backer *et al.* (2008), ce questionnaire manifeste des problèmes de nature psychométrique. De plus, au même titre que le questionnaire de Pintrich, les dimensions psychopédagogiques de cet instrument s'éloignent du propos épistémologique de notre étude.

Elder (2002) ainsi que Conley *et al.* (2004) se sont aussi inspirés du questionnaire de Schommer (1990) duquel ils ont retiré les dimensions liées à la vitesse de l'apprentissage et aux capacités cognitives des élèves. Les quatre dimensions retenues pour caractériser l'épistémologie des jeunes élèves du primaire sont : la source, la certitude, le développement et la justification du savoir. Le questionnaire conçu par Elder (2002) a été administré à 211 élèves de 5^e année et comporte trois questions ouvertes en plus de 25 items. Tout comme Elder (2002) et Conley *et al.* (2004), la présente étude considère ces quatre dimensions en raison de leur simplicité et de leur clarté, qualités pertinentes lorsqu'un questionnaire est destiné à de jeunes élèves.

Quelques études récentes ont utilisé le questionnaire de Conley *et al.* (2004) et ont comparé leurs résultats à ceux de Conley. Dans une étude menée auprès de trois classes de 8^e année, Peer et Atputhasamy (2005) ont ajouté un point à l'échelle de Likert de 5 niveaux afin d'éviter les réponses neutres (3 étant le milieu sur une échelle de cinq). Ils ont retiré un item⁴⁸ à cause de son coefficient alpha trop bas. Leur étude a confirmé l'efficacité du questionnaire de Conley pour la mesure des croyances épistémiques des jeunes élèves.

Kaynar, Tekkaya et Çakiroglu (2009) ont aussi utilisé le questionnaire de Conley avec 153 élèves de 6^e année. Leur étude quasi-expérimentale évaluait la progression des résultats à deux tests administrés à un groupe témoin (méthode d'enseignement traditionnel), et un groupe expérimental (méthode constructiviste). Les tests (*Cell Concep Test* et *Epistemological Belief Questionnaire*) ont été passés avant et après une séquence d'enseignement. La variable indépendante était la méthode d'enseignement et les variables dépendantes correspondaient aux résultats initiaux et finals du test et du questionnaire. Une analyse multivariée de covalence (MANCOVA) a indiqué une différence significative des résultats aux tests sur la cellule ainsi que

⁴⁸ L'item était « There are some questions that even scientists cannot answer ».

des résultats au questionnaire sur les croyances épistémiques en faveur des élèves ayant reçu un enseignement non traditionnel. Il est intéressant de noter que l'ensemble des items du questionnaire utilisé par Kaynar *et al.* (2009) a obtenu un indice alpha de Cronbach de 0,83, ce qui démontre la consistance interne de l'instrument.

Le questionnaire de Conley a donc été utilisé dans le cadre de notre étude puisque celui-ci a fait ses preuves tant au niveau de sa rigueur statistique que de l'éclairage qu'il apporte aux croyances épistémiques des élèves du primaire. De plus, le Test *Dessine-moi un scientifique* a été utilisé dans le but de compléter les données. Cet outil sera présenté dans une section ultérieure.

Clarebout, Elen, Luyten et Mendelsohn (2001) ne recommandent pas l'utilisation du questionnaire et suggèrent la technique de l'entrevue. Tout comme Härle (2006) ayant effectué des entrevues auprès de 98 enfants de 9 à 12 ans, ils confirment que les élèves de cet âge sont capables de verbaliser leurs croyances épistémiques. Dans la même optique, Kittleson (2012) a choisi de construire un canevas d'entretien individuel destiné à des élèves de 3^e année à partir des items du questionnaire de Conley *et al.* (2004) et de questions portant sur des problèmes investigués préalablement en classe de sciences.

3.5.2 L'entrevue

L'entrevue nécessite des habiletés verbales mais elle permet de préciser la pensée. Optant pour cette stratégie, Yang et Tsai (2010) ont effectué des entrevues auprès de 62 élèves de 6^e année du primaire afin de faire la lumière sur la relation entre les raisonnements scientifiques des élèves et leur épistémologie personnelle, et ce, dans le cadre de contextes informels de la vie de tous les jours. Les élèves étaient invités à

évaluer la validité des informations d'un reportage au sujet de la prédiction des tremblements de Terre par le comportement agité de poissons. Cette méthode, qui consiste à questionner les élèves au sujet de sujets controversés ou lors de la résolution de problèmes *flous*, est utilisée au secondaire et au préuniversitaire par plusieurs auteurs (King et Kitchener, 1994; Kuhn, 2001; Rowell et Dawson, 1983; Toussaint et Lavergne, 2005). Les grilles d'analyse construites par ces auteurs offrent des indicateurs qui catégorisent les croyances épistémiques sous-jacentes du discours des élèves. Il serait donc possible d'inférer le profil épistémique des élèves du primaire à partir de leurs réponses.

Inspirés de ces études, Yang et Tsai (2010) ont déterminé trois perspectives épistémologiques : la vision *absolutiste*, la vision *multipliste* et la vision *évaluativiste*. Malgré le fait que l'objet de l'étude de Yang et Tsai (2010) est similaire à notre étude, les types de raisonnements analysés diffèrent : inférences basées sur l'expérience personnelle, inférences basées sur une compréhension scientifique, impressions personnelles. De plus, selon ces chercheurs, la stratégie de l'entrevue comporte des limites, entre autres, parce que l'épistémologie personnelle varie en fonction du contexte (Yang et Tsai, 2010).

3.5.3 La méthode de la réflexion parlée (*think-aloud*)

Une autre approche méthodologique consiste à analyser des conceptions épistémiques en contexte. Hofer (2004) voulant appréhender en direct le rôle joué par les croyances épistémiques dans le fonctionnement des sujets en plein travail cognitif, opte pour l'extraction de protocoles recueillis par la méthode de la réflexion parlée (*think-aloud*) suivis d'entretiens rétrospectifs. Les élèves d'une école secondaire, dans le cadre des cours de sciences, étaient seuls en laboratoire et avaient pour tâche d'effectuer des recherches sur Internet. Ils devaient ensuite expliquer leurs choix de ressources. Ces

techniques sont directement en prise avec l'activité cognitive en situation mais elles sont trop lourdes en termes de charge cognitive pour le sujet, encore plus pour un jeune élève du primaire.

Dans le cadre d'une étude de cas que diSessa *et al.* (2003) ont menée auprès d'une étudiante universitaire de première année, sept entretiens cliniques d'une durée respective d'une heure ont été tenus. L'interprétation de l'étudiante de concepts de physique et ses comportements ont été analysés dans le cadre d'une *épistémologie en action*. Dans une perspective similaire, notre étude envisage l'épistémologie personnelle comme étant inhérente aux actions cognitives.

Pour Moschner *et al.* (2008), les observations directes, utilisées dans les études menées chez les jeunes enfants, fournissent des données réelles, contextualisées, et elles contrent les biais de l'interviewé (désirabilité) et du langage limité.

3.5.4 La stratégie multiméthodologique

À l'instar de Moschner *et al.* (2008), qui a relevé les limites de chacune des méthodes mentionnées précédemment et qui a prôné l'utilisation de multiméthodes, les stratégies méthodologiques choisies pour la conduite de notre étude de l'épistémologie personnelle comportent un questionnaire, en plus d'entretiens individuels et d'observations d'élèves en contexte de classe entière.

Les stratégies méthodologiques utilisées pour l'étude du raisonnement analogique sont présentées dans la prochaine section.

3.6 Le raisonnement analogique

De nombreuses études ont porté sur le raisonnement analogique chez les enfants. Les méthodes sont variées et plusieurs d'entre elles comportent une forte composante observationnelle ainsi que l'analyse de discours recueilli lors de tâches diverses.

Le champ d'étude du raisonnement humain (dont le raisonnement analogique) est vaste et les méthodes utilisées pour l'étudier sont variées. En sciences cognitives et en psychologie, les chercheurs utilisent souvent des questionnaires à choix de réponses ou à réponses fermées, des batteries de tests standardisés, des simulations ou des associations (Klaczynski, 2001; Overton, Ward, Noveck, Black et O'Brien, 1998; Richland, Morrison et Holyoak, 2006; Ward et Overton, 1990; Watters et English, 1995; cités par Durocher, 2009). Ces instruments de collecte de données résultent généralement d'une méthodologie quantitative.

Plusieurs études psychogénétiques du raisonnement analogique suivent la lignée des travaux piagétiens et utilisent la méthode clinique ainsi qu'une variété de tests cognitifs. Goswami (1992) a répertorié des études sur le développement cognitif des enfants. Celles-ci étaient axées sur différentes tâches dont des résolutions de problèmes utilisant des suites schématiques ou encore des histoires analogues dans un contexte d'apprentissage de la lecture.

Dans le domaine de la didactique des sciences, les collectes de données mixtes sont souvent utilisées, soit avec des questionnaires, des problèmes à résoudre, des expérimentations à réaliser ou des dessins ou schémas à exécuter. En réalisant des recherches sur le raisonnement et le changement conceptuel, les chercheurs de ce domaine tenteront d'utiliser des méthodes laissant aux sujets la possibilité de s'exprimer, plutôt que de les restreindre à des questions à choix multiples.

Mason (1994) a procédé à la vérification de la compréhension par les élèves de 5^e année de diverses analogies proposées par l'enseignant dans le domaine de la biologie. Dans ce cas-ci, comme lors de l'étude du développement cognitif des enfants par des tests ou des résolutions de problèmes (Carey, 1985; Goswami, 1992; Venville et Treagust, 1999), le raisonnement analogique est induit par l'enseignant. Or, dans un contexte d'analyse et de compréhension du raisonnement analogique, Blanchette et Dunbar (2000) recommandent de mener des études dans un paradigme de production d'analogies au lieu de le faire dans un laboratoire où les sujets doivent relier les sources et les cibles qui constituent l'analogie.

Le contexte choisi pour notre étude respecte cette dernière recommandation de Blanchette et Dunbar (2000) puisque ce sont les raisonnements spontanés des élèves qui font l'objet de notre étude. La production des analogies sera naturelle et non induite par des tests préparés à l'avance. Notre recherche présuppose que le raisonnement analogique recèle un potentiel indéniable pour induire le changement conceptuel en sciences. Afin de faire émerger des référents analogiques spontanés, l'exploration d'un phénomène naturel ou d'une réalité est une stratégie appropriée, car elle permet aux élèves d'exprimer spontanément leurs idées (Jakobson et Wickman, 2007; Toussaint *et al.*, 2001). Afin de faire l'étude des raisonnements analogiques, différentes catégorisations des analogies guident les chercheurs.

3.6.1 La catégorisation des analogies

Les études axées sur les analogies construites et exprimées par les élèves se retrouvent dans la catégorie des méthodes descriptives et des méthodes d'observation. Les discours d'élèves constituent le corpus principal des données recueillies. L'analyse de contenu est tributaire des systèmes de catégorisation. À titre d'exemple, Curtis et Reigeluth (1984) ont classifié des analogies selon des critères tels les liens

entre la source et la cible (structurel, fonctionnel ou les deux) et leur enrichissement (les analogies simples, les analogies riches ou explicatives et les analogies étendues [*extended*] qui combinent les deux premières). D'autres classifications des analogies axées sur la nature des liens de correspondance entre la source et la cible permettent d'évaluer leur valeur cognitive; par exemple, les similarités *superficielles* expliquent la ressemblance des propriétés des éléments de la source et ceux de la cible; les similarités *structurelles* désignent les relations internes entre les objets de la source et de la cible, ce qui exige une meilleure compréhension de la part des sujets⁴⁹.

D'autre part, Markman et Gentner (2000) ont précisé des critères (*benchmarks*) permettant d'évaluer les analogies. Ces critères caractérisent les analogies et comportent de nombreuses distinctions telles « la similarité relationnelle, la consistance structurelle et la systématisme » (p. 504). Cette catégorisation assure une interprétation précise des analogies exprimées par des adultes.

La systématisme ou potentiel d'appariement d'ordre supérieur a aussi intéressé Gentner et Toupin (1986) dans une étude menée auprès de 72 enfants âgés de 4-6 ans et de 8-10 ans à l'aide de neuf courtes histoires mettant en scène des poupées et des animaux. Les résultats démontrent le lien entre le développement cognitif des enfants et l'usage d'analogies plus sophistiquées.

Une autre façon d'analyser le raisonnement analogique issu de conversations spontanées enfantines se réfère au jugement *esthétique*, à la valeur *normative* et à la valeur *cognitive* des métaphores exprimées par les élèves du primaire lors d'explorations scientifiques en classe de sciences (Jakobson et Wickman, 2007). Ces chercheurs ont relevé les transformations du langage métaphorique en recueillant 25

⁴⁹ Dans l'analogie, *un nuage est comme une éponge*, le jeune enfant fait la correspondance de la structure des objets tandis que l'adulte associe la fonction liée à la rétention de l'eau (Gentner, 1988).

heures d'enregistrement d'élèves âgés de 6 à 10 ans de quatre classes différentes visitées entre une à trois fois. Les unités scientifiques traitaient des solides et liquides, des circuits électriques, des mélanges, des bourgeons, de la lumière et du sol. Leur étude a démontré que le langage spontané des enfants est truffé de métaphores, surtout dans des contextes d'observation où la description de structures prédomine. De plus, elle a soulevé la complexité de la dualité subjectivité-objectivité dans le langage en apprentissage des sciences.

En intelligence artificielle, différents modèles computationnels ont été développés : celui de Gentner (1988) basé sur l'appariement des attributs communs entre la source et la cible (le *Structure Mapping Engine*) et celui de Holyoak et Thagard (1989) en résolution de problèmes. Les résultats de ces recherches conduites à l'aide de programmes informatiques fournissent des outils d'analyse du fonctionnement du raisonnement analogique, en l'occurrence lors des étapes d'évocation et de mise en correspondance.

Notre étude porte sur le rôle des raisonnements analogiques dans le processus de changement conceptuel. Dans ce processus, la conception évolue afin de se rapprocher de la compréhension plus rigoureuse du concept scientifique. Ainsi, le changement conceptuel exige une analyse basée sur l'évolution des conceptions préalables, du profane à l'expert, du naïf au savant, de l'intuitif au formel. Notre étude mise donc en grande partie sur la valeur cognitive du raisonnement analogique.

Par ailleurs, le maillage des divers raisonnements impliqués en apprentissage des sciences incite à concevoir un cadre d'analyse qui prendra en compte l'association d'autres formes de raisonnement avec les raisonnements analogiques, sans perdre de vue l'importance attribuée à ces derniers.

En conclusion, le point commun méthodologique des études qui portent sur le changement conceptuel, les croyances épistémiques et le raisonnement analogique se rapporte à la place accordée à l'observation des sujets et à l'opérationnalisation multi-instrumentale.

3.7 L'opérationnalisation et l'instrumentation de la méthodologie retenue

Le scénario de la recherche comporte trois phases principales. La première phase consiste à faire passer aux élèves participants un questionnaire de 26 items (Conley et *al.*, 2004) qui porte sur les croyances épistémiques et qui demande de dessiner un ou une scientifique. Ce questionnaire a duré environ 30 minutes.

La deuxième phase correspond au protocole d'intervention en salle de classe et englobe trois étapes : l'exploration, la collaboration et l'objectivation. Lors des deux premières étapes – d'exploration et de collaboration, les élèves ont été filmés et enregistrés par une équipe technique préalablement formée. Les images captées sont principalement: les élèves en train de faire des manipulations, de s'exprimer et de parler entre eux. Les manipulations et les discussions entre pairs précèdent la troisième étape d'objectivation où les élèves ont répondu individuellement par écrit à une question ouverte dans leur carnet de sciences. Ce cycle s'est répété pour trois situations en lien avec le phénomène de la flottaison. Une discussion de groupe a clos la séquence. Cette intervention en salle de classe avait une durée de deux heures. La durée totale des enregistrements vidéo est de 42 heures approximativement.

La troisième phase s'est déroulée avec un seul élève à la fois environ une semaine après la séquence d'enseignement-apprentissage. Chaque entretien individuel d'une durée de 20 minutes a porté sur la compréhension du phénomène de la flottaison, sur la justification de celle-ci et sur les croyances épistémiques. L'enregistrement sonore

et visuel de 20 entretiens⁵⁰ a été fait. Le tableau 3.1 résume les phases du scénario de recherche et l'instrumentation de la collecte de données. Les phases et les instruments de collecte de données utilisés lors de chacune de ces phases sont présentés parallèlement dans le tableau suivant.

Tableau 3.1 Phases du scénario de recherche et instrumentation de la collecte de données

<i>Phase</i>	<i>Étapes de la séquence d'enseignement /apprentissage</i>	<i>Collecte de données</i>
P ₁		Questionnaire (croyances épistémiques) incluant le test <i>Dessine-moi un scientifique</i>
P ₂	Mise en situation Exploration Collaboration	Enregistrement audio vidéo Carnet de sciences (écrits et dessins issus des travaux d'exploration) Discussion de groupe
P ₃	Objectivation	Entretiens individuels Enregistrement audio vidéo

3.7.1 L'échantillonnage

L'échantillonnage était intentionnel. Compte tenu de la nature des savoirs impliqués (masse volumique, densité, flottabilité) et du niveau de complexité de l'investigation,

⁵⁰ Même si un total de 20 élèves a fait un entretien individuel, seuls les verbatim de 12 élèves ont fait l'objet d'analyse puisque la saturation des données a été obtenue. Une justification plus élaborée de la réduction de 20 à 12 élèves se retrouve à la section de l'analyse des verbatim (3.7.3.2).

les sujets ciblés sont des élèves du deuxième cycle et du troisième cycle du primaire. Ils proviennent d'une commission scolaire de la région du Centre-du-Québec. Au total, 142 élèves volontaires répartis dans sept classes ont participé à la recherche. Recrutés avec la collaboration de la conseillère pédagogique, ces élèves ont d'abord accepté de participer aux activités proposées. Les permissions requises ont été sollicitées et obtenues.

Six groupes-classes proviennent d'une école A d'une petite ville et un groupe-classe provient d'une école B située en milieu rural. La classe pilote de 4^e année et une classe de 5^e- 6^e années fréquentent la petite école rurale. Les sept groupes-classes se déclinent ainsi : une classe de 3^e- 4^e années, deux classes de 4^e année, deux classes de 5^e année et deux classes de 5^e- 6^e années (sans compter la classe pilote de 4^e année).

Le tableau suivant présente la répartition des élèves en fonction des classes.

Tableau 3.2 Groupes-classes qui ont participé à la recherche

Groupes-classes	Nombre	École	Nombre d'élèves
3 ^e -4 ^e années	1	École primaire A	19
4 ^e année	2	École primaire A	18 et 21
5 ^e année	2	École primaire A	24 et 23
5 ^e -6 ^e années	2	École primaire A et École primaire B	18 et 19
Total	7		142

Les groupes-classes sont constitués d'élèves de la 3^e à la 6^e année âgés entre 8 et 12 ans répartis ainsi : 5 élèves de 8 ans; 19 élèves de 9 ans; 61 élèves de 10 ans; 40 élèves de 11 ans; 17 élèves de 12 ans. Un nombre de 79 garçons et de 63 filles forme l'échantillon total.

La chercheuse, à la fois enseignante de 4^e année, a fait une pré-expérimentation dans sa propre classe de 18 élèves avant de conduire l'investigation dans les sept autres classes de la commission scolaire. Cette pré-expérimentation a servi à valider les instruments utilisés (questionnaire, carnet de science, grilles d'analyse) ainsi que la logistique du déroulement et de l'enregistrement de la séquence d'enseignement-apprentissage. Les données recueillies lors de cette expérimentation ont donc été analysées en fonction de la pré-expérimentation, donc séparément des données de l'étude formelle et dans un but de validation. Un journal a été tenu lors de cette expérimentation et des modifications au questionnaire ont été apportées, principalement dans la formulation des énoncés.

3.7.2 La séquence d'enseignement-apprentissage

Le cycle d'enseignement-apprentissage choisi est celui développé par Toussaint *et al.* (2001) en raison de son efficacité pédagogique avec des élèves du primaire et de la maîtrise de ses rouages par l'enseignante-chercheuse. Il comporte une étape d'exploration, une étape de collaboration et une étape d'objectivation : 1- L'exploration consiste à présenter aux élèves un phénomène scientifique et à laisser libre cours à la découverte par la manipulation. Il est pertinent dans un cadre d'exploration de laisser s'exprimer les élèves en ne les contraignant pas avec des questions orientées. Il s'agit plutôt d'observer leurs raisonnements et questionnements, afin de décrire le mieux possible leur évolution cognitive en biaisant le moins possible leur construction. 2- La collaboration permet à l'élève de comparer sa compréhension d'un phénomène avec ses pairs en argumentant, en expliquant et en se questionnant mutuellement. Cette étape est cruciale dans l'élaboration de connaissances. 3- Lors de l'objectivation, les élèves effectuent le bilan de leur exploration et le communiquent aux autres à l'aide de représentations diverses telles que des écrits, des tableaux-synthèses, des schémas, des figures qui

illustrent les résultats et leur compréhension du phénomène. Dans le cadre de l'étude, l'objectivation est faite à l'aide du carnet de sciences ainsi que d'une discussion de groupe.

Les élèves ont exploré trois situations⁵¹ en lien avec la flottaison, un phénomène complexe qui englobe plusieurs concepts scientifiques tels que la pression, la masse, le volume, la densité, les fluides; ces concepts font partie des savoirs essentiels prescrits par le programme de sciences et technologie québécois (MELS, 2006).

3.7.3 Le questionnaire sur l'épistémologie personnelle

Afin de mesurer l'épistémologie personnelle, les instruments utilisés au secondaire proposent des tâches complexes et doivent être adaptés aux élèves du primaire. Dans le cadre de notre étude, deux instruments sont utilisés : le questionnaire de Conley *et al.* (2004) et le questionnaire *Dessine-moi un scientifique (Draw-a-scientist Test, Mason et al., 1991)*.

3.7.3.1 Le questionnaire portant sur les croyances épistémiques en sciences

Le questionnaire de Conley *et al.* (2004) *My beliefs in Science Learning* vise à mesurer l'épistémologie personnelle des élèves du primaire. Il comporte 26 items regroupés en quatre dimensions : la source, la certitude, le développement et la justification du savoir. Afin de réduire les distorsions dues à la traduction, les étapes méthodologiques proposées par Vallerand (1989) ont été respectées, c'est-à-dire une traduction renversée (de l'anglais au français et du français à l'anglais) et parallèle (inter-juges).

⁵¹ Les trois situations sont décrites dans la section du carnet scientifique.

La consistance interne a été vérifiée par Conley *et al.* (2004), Kaynar *et al.* (2009) ainsi que Peer et Atputhasamy (2005). D'autres actions de validation, faites par l'équipe de recherche de LERTIE (Laboratoire d'études et recherches trans/interdisciplinaires en éducation) a consisté à vérifier la fidélité (il fournit toujours la même mesure) et la validité (il mesure bien ce qu'il vise à mesurer).

Une pré-expérimentation faite avec les élèves de 4^e année de la classe de l'enseignante-chercheure a permis de valider la compréhension des items par les élèves. Le tableau 3.3 présente les dimensions théoriques, les descriptions et des exemples d'items de la version française du questionnaire de Conley *et al.* (2004)⁵².

Tableau 3.3 Dimensions théoriques, descriptions et exemples d'items du questionnaire portant sur les croyances épistémiques en sciences

Dimensions théoriques	Descriptions	Exemples d'items
Source du savoir (<i>knowing</i>)	Croire que la connaissance en science appartient à une autorité (5 items)	<i>L'enseignant/l'enseignante dit toujours la vérité.</i>
Certitude (<i>knowledge</i>)	Croire que la science a une seule bonne réponse (6 items)	<i>Le plus important en science est d'arriver à la bonne réponse.</i>
Développement (<i>knowledge</i>)	Croire que le savoir évolue (6 items)	<i>Les idées en science changent parfois.</i>
Justification (<i>knowing</i>)	Avoir le sens de la preuve (9 items)	<i>Il est bon d'essayer des expériences plus d'une fois pour être sûr de ses découvertes.</i>

⁵² Tous les items du questionnaire sont présentés en appendice.

Le questionnaire a été distribué par les enseignantes et complété par les élèves avant la visite de la chercheuse. Des consignes précises ont été adressées aux enseignantes afin de s'assurer des mêmes conditions de passation.

3.7.3.2 Le test *Dessine-moi un scientifique*

Le domaine d'étude de la perception des personnes et des élèves au sujet de la science et des scientifiques prévaut depuis plus de 50 ans. Finson (2002) a présenté une recension des études significatives dans ce champ d'étude. Certaines mettent en exergue la relation entre la perception de la science et l'attitude envers les sciences avec le sentiment d'efficacité personnelle ainsi que l'intérêt pour les carrières scientifiques. Ces études démontrent que les stéréotypes (tel le savant fou et asocial, habillé d'un sarrau blanc) sont persistants et font fi des frontières géographiques, tant chez les jeunes élèves (Buldu, 2006; Mason *et al.*, 1991) que chez les enseignants (Finson, 2002). De plus, la perception initiale de l'élève face à la science peut évoluer après un contact avec des scientifiques dont des femmes. Leur vision mythique devient ainsi plus réaliste.

Inspiré du légendaire *Dessine-moi un mouton* de Saint-Exupéry, Chambers (1983) avait conçu ce test afin de faciliter l'expression des jeunes élèves du primaire par le dessin. Cependant, Brown, Grimbeek, Parkinson et Swindell (2004) ont constaté que le fait de faire dessiner et en plus, de demander des explications écrites ou orales, fournit des données plus justes et conformes à la pensée des élèves. Ce test, jumelé à d'autres instruments, demeure donc un outil efficace afin de connaître ce que l'élève pense de la science et particulièrement du travail du scientifique. Dans le cadre de notre étude, ces dessins compléteront les informations recueillies au sujet des croyances épistémiques liées à la nature du savoir ainsi que les liens éventuels de ces croyances avec les raisonnements des élèves.

3.7.4 Les observations enregistrées et filmées

Le fait d'avoir filmé les élèves se justifie par trois arguments didactiques propres à notre étude : 1- l'apprentissage des sciences se fait en mettant la main à la pâte (*hands-on*) (AAAS, 2001a, 2001b; Charpak, 1996); 2- notre étude s'inscrit dans le paradigme de la cognition distribuée (Lave, 1993); 3- la cognition est fortement liée aux expressions gestuelles (Crowder, 1996; Crowder et Newman, 1993; Roth, 2001).

Les séquences visuelles des manipulations des élèves ont appuyé les observations verbales et leur analyse ont dévoilé la part implicite de l'action. Ces données visuelles ont permis d'observer l'engagement cognitif des élèves au sein des interactions lors de la phase de collaboration. Chaque groupuscule d'environ quatre élèves a été filmé par un membre de l'équipe de recherche préalablement formé. Ces données audiovisuelles ont complété les observations liées à l'engagement des élèves pendant le processus de changement conceptuel.

Eu égard à la sélection des données, Anadon et Savoie-Zajc (2009) rapportent la recommandation de Wolcott (1994) : « Il faut distinguer entre les dimensions centrales et celles qui sont périphériques, entre les éléments transversaux et les spécificités » (p. 2). Ainsi, notre étude ne se base pas sur la totalité des données audiovisuelles; cependant, celles-ci ont fourni des informations pertinentes au sujet de l'implication des élèves dans le cadre de l'exploration en petits groupes. Les incidents critiques tirés de ces données audiovisuelles ont été utilisés afin de déterminer les 20 élèves qui ont participé aux entretiens individuels. Ceux-ci ont été choisis en fonction de leur engagement cognitif (richesse du raisonnement, capacité d'expression, gestes explicatifs) lors de la phase de collaboration. L'enregistrement vidéo a aussi été utilisé pour l'analyse fine du discours des élèves pendant les entretiens individuels effectués environ une semaine après la visite en classe.

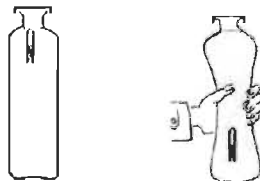
3.7.5 Le carnet de sciences

Le carnet de sciences a été conçu en collaboration avec l'équipe de recherche LERTIE et Toussaint (2002) pour qui la thématique de la flottaison a fait l'objet d'études effectuées à l'ordre d'enseignement secondaire. Le choix des trois situations découle d'une expérimentation en classe de sciences et de la validation par l'équipe de recherche.

Le carnet de sciences comportait des questions ouvertes répondues par les 142 élèves suite à la phase de collaboration. Ainsi, la mise en mots de leurs explications personnelles s'est effectuée après avoir fait des manipulations et discuté avec leurs pairs. Le questionnaire ouvert se caractérise par la possibilité pour les participants de répondre librement aux questions (Johnson et Christensen, 2004). Les questions posées demandent une élaboration, une justification (textuelle et graphique) de la part du répondant. Les réponses des élèves ont renseigné sur leur compréhension personnelle du phénomène naturel qu'est la flottaison. Le carnet de sciences comportait trois mises en situations qui traitaient d'aspects différents de la flottaison. Les trois questions suivies des explications conceptuelles s'articulent ainsi :

Situation 1 – Le ludion

Comment peux-tu expliquer que le compte-gouttes descend dans la bouteille quand on exerce une pression?



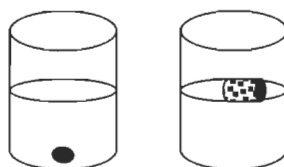
Tu peux écrire des phrases et faire un dessin.

Explications du comportement du ludion⁵³

Un ludion est une sphère creuse percée d'un trou à sa partie inférieure qui monte et descend dans un bocal fermé par une membrane, quand on modifie la pression. Un compte-gouttes inséré dans une bouteille étanche et compressible peut aussi faire office de ludion. Deux phénomènes permettent d'expliquer le comportement du ludion : la compressibilité des fluides et le principe d'Archimède. Au départ, le compte-gouttes contient de l'air. À cause de la pression sur la bouteille, l'air dans le compte-gouttes se comprime et le compte-gouttes se remplit d'eau. Seuls les gaz sont des fluides compressibles, contrairement à l'eau, ce qui explique que l'air se comprime et laisse entrer l'eau dans le compte-gouttes. Ensuite, le compte-gouttes s'alourdit parce qu'il contient plus d'eau. La poussée d'Archimède n'est donc plus suffisante pour le faire flotter, alors il coule.

Situation 2 – Objets différents

Explique dans tes mots pourquoi un sou noir coule au fond, tandis qu'un bouchon de liège peut flotter dans l'eau.



Tu peux écrire des phrases et faire un dessin.

⁵³ Ces explications proviennent du mémoire de M. Durocher (2009).

Explications du comportement de chaque objet

Le principe d'Archimède permet d'expliquer les comportements du sou noir (une pièce de monnaie) et du bouchon de liège déposés dans l'eau. Dans le cas du sou noir, le volume d'eau qu'il déplace provoque une poussée vers le haut plus faible que son poids. La force résultante est dirigée vers le bas : il coule. Pour le bouchon de liège, il déplace un certain volume d'eau qui provoque une poussée d'Archimède plus élevée que son poids. La force résultante se dirige vers le haut : le bouchon de liège flotte.

Situation 3 – Le papier d'aluminium

Comment expliques-tu que dépendamment de sa forme, le morceau de papier d'aluminium peut flotter ou couler au fond d'un contenant?

Tu peux écrire des phrases et faire un dessin.

Explications : le volume d'eau déplacé par un objet dépend de sa forme

Un objet peut flotter si la force résultante se dirige vers le haut et est assez grande. Sans égard au poids de l'objet, on considère que la masse de papier d'aluminium reste constante, c'est donc la forme de l'objet qui influence sa flottaison. Très compacte et de forme allongée, le papier d'aluminium coule parce que le volume d'eau qu'il déplace est trop faible. Au contraire, en boule ou en forme de bateau, il flotte car il déplace plus d'eau. De ce fait, la poussée d'Archimède est proportionnelle au poids du volume d'eau déplacé.

La complexité du phénomène de la flottaison en fait un domaine de prédilection pour faire émerger les raisonnements des élèves. La notion de masse volumique, entre

autres, exige une compréhension de divers concepts. Pour les élèves du primaire, les difficultés à donner une explication juste de la flottabilité d'un objet a intéressé plusieurs auteurs (Michaud, 1970; Thouin, 1985; Toussaint, 2002).

Dans le but de déterminer les repères cognitifs de la compréhension du phénomène de la flottaison et de guider l'analyse conceptuelle du discours des élèves, une explication de ce phénomène suit.

3.7.5.1 Le phénomène de la flottaison

La flottaison est l'état d'un objet qui flotte dans un fluide, le fluide étant liquide ou gazeux. La flottaison dépend de la flottabilité qui correspond à la poussée d'Archimède ou la poussée hydrostatique. Le principe d'Archimède est le principe selon lequel la poussée hydrostatique d'un objet est égale au poids (gravité) du fluide déplacé par l'objet. Le volume d'un objet est égal au volume de fluide déplacé par l'objet. La poussée hydrostatique s'explique par le fait que les particules du fluide exercent une force dans une direction opposée à la force de gravité.

La poussée d'Archimède (287-212 avant J.-C.) désigne donc la force que subit un corps plongé en tout ou en partie dans un fluide (liquide ou gazeux). Cette force provient de l'augmentation de la pression du fluide (due à la force hydrostatique provenant de l'effet de la gravité sur le fluide) avec la profondeur. Le fluide immergeant et le corps immergé doivent être au repos. La poussée verticale orientée vers le haut résulte de la pression plus forte sur la partie inférieure de l'objet immergé que sur sa partie supérieure. Le principe d'Archimède s'articule ainsi :

Tout corps plongé dans un fluide au repos, entièrement mouillé par celui-ci ou traversant sa surface libre, subit une force verticale, dirigée de bas en haut et opposée au poids du volume de fluide déplacé.

L'énoncé s'exprime à l'aide de la formule suivante :

$$P_{\text{Archimède}} = V_{\text{déplacé}} \times M_{\text{fluide}} \times g$$

- $P_{\text{Archimède}}$: le poids du fluide, en newton (N)
- $V_{\text{déplacé}}$: le volume déplacé en m^3
- M_{fluide} : la masse volumique du fluide en kg par m^3
- g : la gravité en newton par kg (sur Terre $g = 9,81$ environ)

Les travaux d'Archimède sur la statique des corps flottants et sur la statique en général s'insèrent dans son domaine de prédilection, la géométrie. Dans le *Traité des corps flottants* (traduit par Mugler, 1971), Archimède jette les bases de la science nommée hydrostatique et y présente les lois de la statique des fluides et des conditions d'équilibre des corps solides immergés dans un fluide ou flottant sur lui. Ses démonstrations mathématiques portent d'abord sur la position d'équilibre d'un corps flottant ayant une forme sphérique et dont les lignes droites convergent au centre de la Terre. Il extrapole ensuite ses calculs avec des objets différents.

La force gravitationnelle entraîne les objets vers le bas, comme n'importe quel objet à la surface de la Terre. Dans un fluide (ici un liquide), la poussée d'Archimède se dirige vers le haut. Le principe d'Archimède permet aussi d'expliquer qu'une montgolfière ou un dirigeable puissent flotter dans les airs, les fluides en présence étant gazeux au lieu d'être liquides. La poussée d'Archimède est une force verticale qui définit la flottabilité d'un objet. Plus l'objet déplace un grand volume de fluide, plus la poussée d'Archimède sera grande. Ce qui explique aussi en quoi la forme d'un objet influe sur la flottabilité. Par exemple, une boule de pâte à modeler coulera, tandis que modelée en coque comme un bateau, elle flottera.

La masse volumique désigne la masse de l'unité de volume d'un corps. La masse volumique moyenne est la masse totale de toutes les substances dans un volume donné divisée par le volume total. Par exemple, lorsque la masse du navire et de sa

cargaison est répartie sur un volume assez grand, la masse volumique moyenne du navire est inférieure à la masse volumique de l'eau. La masse volumique se distingue de la densité. Par rapport à l'eau, la densité désigne le rapport du poids d'un volume de liquide avec le poids du même volume d'eau mesuré dans les mêmes conditions de température et de pression.

Après cette incursion explicative dans le domaine conceptuel de la flottaison, la prochaine section poursuit la présentation de l'opérationnalisation de notre étude.

3.7.6 Les entretiens individuels

Les entretiens individuels d'une durée moyenne de 20 minutes visaient à expliciter les raisonnements d'élèves choisis selon certains critères : ces élèves étaient volontaires et disponibles, leur carnet scientifique comportait des traces de raisonnement analogique et/ou des explications originales et incomplètes qui demandaient à être élucidées, et ils se démarquaient par leur engagement manifesté par leur expression verbale et gestuelle lors des phases de collaboration et lors des discussions. Le nombre d'élèves rencontrés individuellement a été établi en fonction des données recueillies et de l'horaire scolaire. Environ trois élèves par classe ont été rencontrés, ce qui fait un total de 20 entretiens d'explicitation. Les verbatim de 12 élèves ont été analysés puisque la saturation des données avait été obtenue.

Chaque entretien s'est déroulé entre un et sept jours après l'exploration scientifique afin de préserver la qualité du rappel des faits (Vermersch, 1994/2011). Les discussions des élèves et les contenus des carnets scientifiques comportant les explications initiales des élèves ont servi d'amorce lors de l'entretien. Après avoir relevé les passages pertinents – qui présentaient des traces de raisonnements analogiques et autres, la chercheuse a demandé à l'élève d'expliquer davantage sa

pensée et de justifier ses manipulations. Les questions types de l'entretien portaient sur deux aspects : la compréhension du phénomène scientifique et l'épistémologie personnelle.

Le déroulement de l'entretien a respecté le même canevas pour tous les élèves rencontrés. La chercheuse accueillait l'élève et communiquait le but, la durée et le déroulement de l'entretien. L'entretien d'une durée de 20 minutes comportait trois étapes :

- 1- un retour sur les trois expérimentations faites lors de la visite de la chercheuse, comportant une relecture des réponses et une clarification de la réponse écrite (avec le matériel expérimental);
- 2- des manipulations diverses sur la flottaison guidées par la chercheuse et entrecoupées de questions afin de valider dans un autre contexte les idées émises lors de l'expérimentation en classe et de pousser la réflexion plus loin (densité, masse volumique)⁵⁴;
- 3- un retour sur le questionnaire, plus précisément sur le dessin du scientifique et sur quatre questions représentatives du questionnaire de Conley. Les questions choisies caractérisent chacune des quatre dimensions et se déclinent ainsi :
 3. Tout ce que l'enseignante dit dans la classe de science est vrai. (*source*)
 7. Le plus important en faisant des sciences est d'arriver à la bonne réponse. (*certitude*)
 15. En sciences, les idées changent parfois. (*développement*)
 22. Les bonnes idées en sciences peuvent provenir de n'importe qui pas uniquement des scientifiques. (*justification*)

3.8 L'analyse des données

⁵⁴ Ces expérimentations sont présentées dans le canevas de l'entretien en appendice.

L'analyse des données a été effectuée selon un cadre qui comporte trois axes principaux : les croyances épistémiques, les raisonnements analogiques et l'engagement dans le changement conceptuel. Le tableau 3.4 présente les éléments qui forment le cadre d'analyse. Une analyse fermée utilise des critères établis au préalable, une analyse mixte traite les données émergentes tout en se basant sur des critères déjà établis.

Tableau 3.4 Cadre d'analyse de l'étude

Objets d'analyse	Instruments de collecte de données	Type d'analyse et outils d'analyse	Dimensions retenues
Les croyances épistémiques	1-Questionnaire : 26 items et 2- dessin d'un scientifique	1-Analyse statistique à l'aide du logiciel SPSS et 2- à partir de la grille d'analyse du test <i>Dessine-moi un scientifique</i> (Mason <i>et al.</i> , 1991)	1-Source, stabilité, développement, justification de la science; 2- attributs du scientifique
	Verbatim de 12 entretiens individuels	Analyse mixte, grille d'analyse	Dimensions émergentes et dimensions épistémiques inférées (p. ex., réalisme naïf, sens de la preuve)
Le raisonnement analogique	Carnet de sciences : dessins et phrases	Analyse mixte, grille d'analyse	Dimensions émergentes et catégorisation des raisonnements
	Verbatim de 12 entretiens individuels	Analyse mixte, grille d'analyse	Dimensions émergentes et catégorisation des raisonnements
L'engagement dans le changement conceptuel	Images vidéo ⁵⁵	Analyse fermée d'incidents critiques de séquences vidéo de 12 élèves	Manifestation de leur engagement dans le changement conceptuel : prise de parole, manipulations, interactions

La mise en relations des résultats d'analyse a fait ressortir les liens entre les croyances épistémiques des élèves et leur engagement dans le processus de changement conceptuel, l'apport du raisonnement analogique dans leur engagement

⁵⁵ Les images vidéo n'ont pas fait l'objet d'une analyse systématique. Seuls des incidents critiques ont été analysés.

dans le processus de changement conceptuel ainsi que les liens entre leurs croyances épistémiques et l'utilisation de la stratégie du raisonnement analogique lors de l'exploration du phénomène de la flottaison.

Compte tenu du fait que de mêmes instruments de collecte de données ont été utilisés pour mesurer plus d'un objet d'analyse, l'analyse est présentée selon cet ordre : l'analyse du questionnaire de Conley (dessin et analyses statistiques) suivie de l'analyse de contenu, laquelle est appliquée à trois sources de données : 1- les réponses des carnets scientifiques 2- les verbatim des entretiens individuels et 3- les enregistrements audio vidéo.

3.8.1 L'analyse des résultats du questionnaire

L'analyse des résultats du questionnaire portant sur les croyances épistémiques s'est opérationnalisée principalement à l'aide du logiciel d'analyse statistique SPSS 14.0 : PC Window. Ce logiciel contient des outils d'analyse suivants : un éditeur de données de type tableur pour la saisie, la modification et l'affichage de données, des procédures statistiques telles que les tests T, les analyses univariée et multivariée de la variance, les régressions linéaire et multiple, les tests non paramétriques tels le Khi-deux, etc.

En premier lieu, les réponses chiffrées (échelle de Likert de 1 à 5) des 142 questionnaires ont été rapportées dans la base de données. Une vue d'ensemble des résultats ainsi que la moyenne de chaque dimension a indiqué le portrait épistémique dominant des élèves. En deuxième lieu, la corrélation entre les quatre dimensions du questionnaire a été mise en évidence et finalement, l'analyse statistique a porté sur les liens entre les dimensions épistémiques et les différentes catégories de raisonnements analogiques préalablement codés.

L'analyse a été effectuée en trois temps : 1- L'analyse descriptive de l'épistémologie personnelle 2- L'analyse descriptive des raisonnements 3- Les relations entre les variables épistémiques et les variables de raisonnement dont le raisonnement analogique.

L'ordre de ces analyses est important puisque les résultats descriptifs des deux premières analyses (celle de l'épistémologie personnelle et des raisonnements) permettent, par la suite, de quantifier le degré statistique de corrélation entre les variables épistémiques et le raisonnement analogique, et par conséquent de décrire leur incidence sur le changement conceptuel.

Temps 1 : Analyse descriptive de l'épistémologie personnelle

En premier lieu, les résultats moyens des groupes d'élèves pour chacune des dimensions épistémiques retenues ont été présentés dans un tableau. En second lieu, une analyse factorielle a permis de regrouper toutes les variables épistémiques fortement corrélées entre elles en un certain nombre de facteurs.

Temps 2 : Analyse descriptive des raisonnements

Cette analyse décrit en détail les résultats de chaque catégorie de raisonnement. Les résultats ont tout d'abord été compilés dans un tableau et ensuite interprétés à l'aide de mesures statistiques. Les raisonnements ont été codifiés ainsi : le raisonnement causal (élaboré ou simple), le raisonnement expérimental (basé sur une vérification ou sur une observation), le raisonnement analogique (élément connu ou métaphore), le raisonnement latent ou en gestation. La justification de cette nomenclature est décrite dans la section qui traite de l'analyse des carnets scientifiques.

Temps 3 : Relations entre les variables épistémiques et le raisonnement analogique

Cette dernière étape a permis d'estimer le degré de relation (ou la corrélation) entre les variables épistémiques et les variables de raisonnement analogique. Une analyse corrélationnelle a été appliquée et a permis de dégager les variables qui sont les plus fortement reliées à la variation de l'utilisation du raisonnement analogique des élèves.

En outre, la combinaison de l'information recueillie aux temps 2 et 3 de ce processus d'analyse a permis l'identification des variables ayant le plus de conséquences sur le changement conceptuel. Autrement dit, les variables épistémiques pour lesquelles les élèves sont faibles (d'après les résultats statistiques du temps 2) et qui ont une forte corrélation avec le raisonnement (d'après les résultats statistiques du temps 3) deviennent des variables importantes pour l'établissement des relations entre les croyances épistémiques et le changement conceptuel.

Afin de préciser l'interprétation des croyances épistémiques des élèves, l'analyse qualitative des réponses du questionnaire a produit des inférences présentées dans le tableau suivant.

Tableau 3.5 Inférence du profil épistémique en fonction des dimensions

Dimensions théoriques	Profil épistémique progressif
Source du savoir (<i>knowing</i>)	<i>autoritarisme</i> → <i>sens de l'évidence, de la raison</i>
Certitude (<i>knowledge</i>)	<i>absolutisme/dualisme</i> → <i>savoir en évolution</i>
Développement (<i>knowledge</i>)	<i>absolutisme</i> → <i>multiplisme</i> → <i>évaluativisme</i>
Justification (<i>knowing</i>)	<i>réalisme</i> → <i>scepticisme</i> → <i>sens de la preuve</i>

En plus des réponses chiffrées obtenues par le questionnaire, les dessins du scientifique ont fait l'objet de l'analyse décrite dans la prochaine section.

3.8.2 Les dessins du test *Dessine-moi un scientifique*

Les critères d'analyse des dessins des élèves sont inspirés de la grille de Mason *et al.* (1991) et du livre *Dessine-moi un scientifique* de Lafosse-Marin et Laguës (2007). Les critères retenus sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 3.6 Indicateurs descriptifs du test *Dessine-moi un scientifique*

Indicateurs	Éléments descriptifs
Traits physiologiques	homme ou femme, jeune ou vieux, taille, cheveux et moustache, debout ou assis, expressions.
Habit et accessoires	sarrau (blouse blanche) ou tenue ordinaire, lunettes, lunettes protectrices, gants.
Lieu	intérieur : laboratoire ou salle; extérieur : milieu naturel ou milieu habité
Activité	expérimentation, observation, questionnement, seul ou avec d'autres
Objets	fioles, livres, table, ordinateur, tableau ou affiche avec symboles, instruments, tuyaux
Types de sciences	chimie, environnement et nature, médecine, astronomie, mathématiques et physique, technologie
Pouvoir	sauveur, danger, savant, modèle, magie

L'interprétation découle de la quantification des éléments retrouvés dans le dessin. La vision de l'élève peut se qualifier selon cette nomenclature inspirée des recherches

antérieures (Lafosse-Marin et Laguës, 2007; Mason *et al.*, 1991) : vision contemporaine, vision dogmatique, vision mythique.

Par ailleurs, les dessins illustrent les raisonnements analogiques des élèves, en l'occurrence lorsqu'ils font référence à des situations ou des personnages connus. La vision du scientifique chez les enfants émerge de leur pensée construite à partir de leurs croyances épistémiques et de leur culture personnelle.

3.8.3 L'analyse de contenu

L'analyse de textes écrits, de verbatim d'entretiens, de questions ouvertes de questionnaires et de dialogues enregistrés est une étape nécessaire du traitement des données verbales en sciences humaines (Ionescu et Blanchet, 2009). Selon Bardin (1977/2009), l'*analyse de contenu* est comprise comme : « l'ensemble de techniques d'analyse des communications utilisant des procédures systématiques et objectives de description du contenu des messages » (p. 42). Elle ajoute que son but est « l'inférence de connaissances relatives aux conditions de production (ou éventuellement de réception) à l'aide d'indicateurs (quantitatifs ou non) » (p. 43). Le contenu comporte deux composantes : le discours explicite et le discours latent, sous-jacent au discours explicite.

Dans notre étude, les données analysées sont issues des écrits des carnets de sciences, des entretiens d'explicitation enregistrés et des enregistrements audiovisuels. Les étapes principales d'analyse ont été les suivantes : la transcription des données, l'annotation à l'aide de rubriques et d'énoncés, la codification et/ou la catégorisation et l'analyse systématique à l'aide de grilles (Paillé et Muchielli, 2002).

3.8.3.1 L'analyse des réponses des carnets scientifiques

Dans les trois situations d'apprentissage, chaque réponse des 142 élèves contient des informations au sujet des explications conceptuelles du phénomène de la flottaison d'une part, et de l'utilisation des raisonnements analogiques dans ces explications d'autre part. Après avoir analysé ces informations, il a été possible de déterminer le rôle des raisonnements analogiques dans la compréhension du phénomène de la flottaison. L'analyse du contenu conceptuel des carnets a donc été faite en fonction de l'émergence des liens entre les raisonnements analogiques et le changement conceptuel.

Le changement conceptuel

Au sujet du changement conceptuel, plusieurs études sur la flottaison ont relevé l'expression d'éléments explicatifs en lien avec le rôle de l'air, du poids, du type de matériau, etc. (Biddulph et Osborne, 1984; Hardy *et al.*, 2006; Joung, 2009; Michaud, 1970). L'étude actuelle comporte trois situations qui permettent de déceler les éléments conceptuels émergents. La mention des variables impliquées et de leur mise en relation détermine la mise en œuvre du changement conceptuel. De plus, le nombre de mots utilisés dans les réponses indique l'expressivité conceptuelle des élèves, laquelle peut varier en fonction de l'âge ou d'autres caractéristiques individuelles. Chacune des trois situations a généré des informations différentes qui contribuent à la compréhension du phénomène de la flottaison.

Situation 1 : le ludion

La situation 1 demandait de manipuler la bouteille d'eau et de faire des observations afin de comprendre le fonctionnement du ludion. La situation génère, entre autres, des explications basées sur des raisonnements causaux puisqu'il était demandé

d'expliquer ce qui était la cause du déplacement du ludion. La pression de l'air, l'augmentation du poids de l'eau dans le compte-gouttes sont des exemples d'éléments explicatifs pertinents exprimés par un élève compétent.

Situation 2 : le sou et le bouchon de liège

Plusieurs études sur la flottaison ont relevé les termes les plus fréquents exprimés par les élèves afin d'expliquer la flottaison d'un objet : l'air, le poids, le type de matériau, etc. Les écrits des élèves ont été analysés en fonction des éléments explicatifs émergents et de la mise en relation des variables impliquées.

Situation 3 : le papier d'aluminium

Cette situation a généré beaucoup d'expérimentations et de tests. Les multiples raisonnements exprimés comportent la vérification de la preuve et des réflexions induites par les manipulations. La mention de la relation entre la forme et le volume d'eau déplacé par l'objet représente la réponse idéale du point de vue du changement conceptuel.

Les raisonnements scientifiques

Les raisonnements scientifiques des élèves sont diversifiés. Par conséquent, l'analyse doit prendre en compte la multiplicité des raisonnements impliqués en sciences. Pour cette raison, la première phase de l'analyse des raisonnements a consisté à relever toutes les formes de raisonnements. Les indicateurs choisis correspondent à quatre formes de raisonnement : le raisonnement causal (élaboré ou simple), le raisonnement expérimental (basé sur une vérification ou sur une observation), le raisonnement analogique (élément connu ou métaphore), le raisonnement latent ou en gestation.

Tableau 3.7 Codification des raisonnements

	code	description
1	RCÉ	raisonnement causal élaboré (l'élève indique une cause et fournit une description mécaniste)
2	RCS	raisonnement causal simple (cause mentionnée mais sans explication du mécanisme, raisonnement incomplet)
3	RV	raisonnement expérimental basé sur une vérification
4	RO	raisonnement expérimental basé sur une observation
5	RA	raisonnement analogique (élément connu/expérience personnelle/situation similaire)
6	RA M	raisonnement analogique avec métaphore
7	R L	raisonnement latent ou en gestation (observation directe, constat, connaissance pragmatique, substantialisme, raisonnement inachevé, inadéquat ou hors contexte)

Les termes qui définissent le raisonnement causal s'articulent à l'aide d'une suite d'énoncés ayant un lien causal, et dont les propositions sont liées par les mots de relation ou connecteurs propositionnels suivants : « donc », « à cause », « alors », « cela fait que », etc. Le raisonnement causal élaboré indique une cause et fournit une description mécaniste, il met en relation deux variables. Le raisonnement causal simple mentionne une cause mais sans explication du mécanisme; ce raisonnement causal est incomplet.

Le raisonnement expérimental se produit lors d'observations pendant des manipulations, des expérimentations ou des tests. Il se décline de deux façons : par des vérifications expérimentales ou par des observations. Ces dernières peuvent être soutenues par un raisonnement hypothético-déductif (p. ex., si tu fais ceci..., quand

on a fait cela...), ou par un raisonnement abductif ou hypothétique (je pense que..., je suppose que ...) avec perception par les sens et dans le but de faire la preuve.

Le raisonnement latent ou en gestation se manifeste de différentes manières : par une simple observation directe sans tentative d'explication (c'est ça parce que c'est ça), par une connaissance pragmatique, substantialiste, ou un raisonnement inadéquat, incompréhensible ou hors contexte.

Afin d'en faire une analyse plus exhaustive, les raisonnements analogiques ont été détachés du discours. Le repérage textuel des raisonnements analogiques se fait par la reconnaissance des termes suivants : « par exemple », « comme », ainsi que l'utilisation de métaphores et la référence à des expériences personnelles déjà vécues ou à d'autres situations similaires.

L'analyse des raisonnements analogiques est faite à partir du critère cognitif, de la valeur de systématisme et de la portée métaphorique. Le critère cognitif désigne le niveau de compréhension conceptuelle que le raisonnement analogique permet d'atteindre. Comme dans le cas des autres formes de raisonnements, ce critère est directement associé au changement conceptuel. Le critère de systématisme se rapporte à la mise en correspondance des attributs communs. Les similarités de surface ont une valeur moindre que les similarités liées à la fonction des attributs (p. ex., comparer le sou à une roche sous-entend qu'ils ont la même masse ou le même matériau, tandis que comparer l'air dans les poumons d'un plongeur au comportement du ludion met en relation des variables liées à l'effet de l'air). La portée métaphorique désigne la valeur esthétique des mots choisis par les élèves et des images générées par les métaphores. Ces expressions personnelles et originales illustrent la pensée.

Les écrits des élèves permettront aussi de faire la lumière sur leur épistémologie personnelle, en l'occurrence au sujet de la dimension de la justification du savoir. À titre d'exemple, les élèves ayant un souci de valider leur propos, d'expérimenter afin de faire la preuve se distinguent des élèves qui manifestent une forme de réalisme, c'est-à-dire qui effectuent une observation directe sans en faire la démonstration.

3.8.3.2 L'analyse des verbatim des entretiens individuels

Un total de 20 entretiens individuels a été effectué avec deux ou trois élèves choisis dans chacune des sept classes. La démarche analytique se concentre sur un nombre de 12 verbatim puisque la quantité de données recueillies et analysées était suffisante afin d'assurer de saisir adéquatement les traces de raisonnements. La redondance des éléments pertinents du discours a donc justifié notre décision. Les caractéristiques des 12 élèves retenus sont représentatives de l'ensemble du groupe d'élèves. L'expression verbale, la capacité de questionnement, la curiosité intellectuelle, l'engagement dans les manipulations et dans les discussions sont les critères qui ont déterminé le choix des élèves. La proportion filles-garçons et l'âge des 12 enfants interrogés correspond approximativement à la proportion du groupe (5 filles et 7 garçons; 3 élèves de 9 ans, 3 de 10 ans, 5 de 11 ans et 1 de 12 ans).

L'analyse des verbatim des entretiens d'explicitation comporte deux pôles : la compréhension du phénomène scientifique et l'épistémologie personnelle. Le rappel des trois situations expérimentales vécues en classe ainsi que les expérimentations complémentaires ont précisé les raisonnements ainsi que les éléments conceptuels qui ont participé à la compréhension de la flottaison.

Au sujet de l'épistémologie personnelle, les questions portaient sur les choix épistémiques liés au dessin du scientifique et sur quatre items représentatifs de

chacune des dimensions du questionnaire sur les croyances épistémiques. L'entretien a donc permis d'explicitier la pensée des élèves au sujet de leurs croyances. Des précisions ont été ajoutées sous le dessin et près des réponses chiffrées, s'il y a lieu.

3.8.3.3 Les enregistrements audio vidéo

Malgré les contraintes de l'enregistrement vidéo (sélectivité des données) et de l'analyse (quantité imposante de données, transcription complexe), cette technique méthodologique dévoile la dynamique et la complexité d'une situation d'enseignement-apprentissage et comporte des avantages tels que la densité et la permanence des données (Powell, Francisco et Maher, 2003).

Certaines études comportent une analyse entièrement basée sur les données vidéo. Ainsi, Powell *et al.*, (2003) proposent un modèle dont les étapes sont : 1- le visionnement (sans intention, afin de se familiariser avec le contexte); 2- la description des données (découpées en épisodes); 3- l'identification des événements critiques; 4- la transcription; 5- le codage; 6- la construction du récit; 7- la rédaction. Dans le cadre de l'étude actuelle, la transcription et le codage de toutes les données vidéo ne sont pas nécessaires puisque ces données sont utilisées afin de renforcer l'observation de l'engagement des élèves dans le changement conceptuel.

Le nombre total d'heures d'enregistrement audio vidéo de chaque groupuscule en action est de 42 heures (une moyenne de six équipes par classe pour sept classes qui ont fait trois expériences d'une durée moyenne de 20 minutes chacune). Comme cette étude visait à décrire les liens entre les raisonnements, l'épistémologie et le changement conceptuel, le fait d'avoir en mains un grand nombre de données ne devait pas obnubiler la sélection des données les plus pertinentes.

Ainsi, la saturation des données (Allègre et Dessus, 2003) justifie la restriction de l'analyse à des séquences choisies. En effet, ce n'est pas la quantité de données analysées qui importe mais la pertinence des informations qui en ressortent. Les dimensions « centrales » et « transversales » prédominent sur celles qui sont périphériques (Wolcott, 1994). Le but de cette étude était d'observer l'engagement des élèves, leur plaisir de se questionner, d'expérimenter, leur participation à l'investigation scientifique. L'analyse des comportements des 12 élèves qui ont participé à l'entretien individuel a donc été effectuée à partir du visionnement des données vidéo montrant exclusivement ces élèves en action. Les critères d'analyse ont été déterminés en fonction de leur engagement dans les manipulations et de leur implication dans les discussions. Ce n'est pas leur propos mais leur attitude face à l'apprentissage qui intéressait cette étape de l'analyse.

3.9 Conclusion

Le fait d'utiliser une variété d'instruments de collecte de données et le fait de conduire cette étude dans sept classes ont fourni des données diversifiées et complémentaires. L'analyse des données recueillies a permis de répondre aux trois questions initiales de recherche. L'analyse des réponses des 142 carnets scientifiques et des verbatim des 12 entretiens individuels a répondu à la question 1 : Comment les raisonnements analogiques effectués par des élèves du primaire lors de l'exploration du phénomène de la flottaison influencent-ils les changements conceptuels ?

L'analyse statistique des réponses au questionnaire portant sur les croyances épistémiques ainsi que l'observation des élèves en action en salle de classe et l'analyse méticuleuse de 12 élèves lors des expérimentations et d'entretiens individuels a permis de répondre à la question 2 : Quels sont les liens entre les

croyances épistémiques d'élèves du primaire et leur engagement dans les changements conceptuels en apprentissage des sciences?

Enfin, l'analyse statistique des réponses au questionnaire portant sur les croyances épistémiques a permis de faire la corrélation anticipée par la question 3 : Quels sont les liens entre les croyances épistémiques d'élèves du primaire et leur utilisation de la stratégie du raisonnement analogique lors de l'exploration du phénomène de la flottaison?

CHAPITRE IV

ANALYSE DES DONNÉES

Dans ce chapitre, l'analyse des données sera étoffée de commentaires interprétatifs puisque l'analyse et l'interprétation sont fortement liées (Wolcott, 1994). Les données brutes ont été regroupées, juxtaposées, comparées afin de tisser le fil qui conduit à l'interprétation des résultats. La quantité et la diversité des données ainsi que les liens entre celles-ci ont exigé une synthèse méticuleuse afin d'identifier les éléments essentiels qui ont conduit à une interprétation adéquate.

Nous avons choisi de respecter les trois processus proposés par Wolcott ⁵⁶(1994) : la description, l'analyse et l'interprétation. Ces étapes, mutuellement exclusives, se recourent et ne sont pas délimitées par une ligne claire. La description se rattache aux données brutes. Elle présente les observations faites sur le terrain le plus fidèlement possible. Elle répond à la question : « What is going on here? » (p. 12). L'analyse identifie les éléments essentiels qui découlent des observations et met en évidence leurs interrelations. Elle répond à : « How things work? » (p. 12). Elle correspond à la transformation de données (Wolcott, 1994), ou selon Miles et Huberman (1994), à la gestion des données (*data management*). L'analyse doit être respectueuse des données, prudente et systématique. Elle permet aussi d'évaluer le système observé. L'interprétation vise à définir et à articuler le sens de l'étude. Elle répond aux questions : « What does it all mean? » « What is to be made of it all? » ⁵⁷(p. 12).

⁵⁶ Selon Wolcott (1994), « the greater problem for first-time qualitative researchers is not how to get data but how to figure out what to do with the data » (p. 9).

⁵⁷ Nous soupçonnons une erreur d'édition qui a fait dire à Wolcott « How does it all mean? » au lieu de « What does it all mean? » (1994, p. 12).

La hiérarchisation de l'analyse des résultats sera faite en fonction des deux objets d'étude qui interviennent dans le changement conceptuel : l'épistémologie personnelle et le raisonnement analogique. La pièce maîtresse qui a fourni les résultats en lien avec l'épistémologie personnelle est sans contredit le questionnaire sur les croyances épistémiques. Le principal instrument qui a fourni les données liées aux raisonnements est constitué des carnets scientifiques. Les liens entre les croyances épistémiques et les raisonnements découlent principalement de l'analyse statistique de ces données. Les entretiens individuels et les séquences vidéo complètent les données des deux principaux objets d'étude et seront présentés en finale.

L'analyse suivra donc cet ordre, en fonction des instruments de collecte de données : 1- L'épistémologie personnelle (via les résultats du questionnaire sur les croyances épistémiques incluant le test *Dessine-moi un scientifique*); 2- le raisonnement analogique (via les réponses des carnets scientifiques) et les instruments complémentaires que sont 3- les verbatim des 12 entretiens individuels et 4- les séquences vidéo. À partir des résultats issus de ces différents instruments de collecte de données, nous avons regroupé les éléments convergents afin de répondre aux questions de l'étude.

4.1 L'épistémologie personnelle

L'épistémologie personnelle a été observée principalement à l'aide d'un questionnaire qui comportait deux parties : les 26 items sur les croyances épistémiques et le dessin du scientifique.

4.1.1 Le questionnaire sur les croyances épistémiques

Rappelons que le questionnaire comportait quatre dimensions : source du savoir (5 items), certitude du savoir (6 items), développement du savoir (6 items) et justification du savoir (9 items). L'échelle de Likert est constituée des échelons de 1 à 5, l'échelon 5 étant le plus élevé. Les deux premières dimensions offrent des données inverses dont il a fallu prendre en compte dans l'analyse.

La moyenne de chacune des dimensions indique que les élèves ont répondu au-dessus de 3 pour chacune d'elles, la source obtenant le score le moins élevé avec 3,16 et la justification obtenant le score le plus élevé avec 4,01. Les écarts-types valident la consistance interne du test.

Tableau 4.1 Moyenne des dimensions et écart-type ($N = 142$)

	Moyenne	Écart- type
Source	3,16	,69
Certitude	3,48	,76
Développement	3,96	,62
Justification	4,01	,53

Ces résultats s'apparentent à ceux de Conley *et al.* (2004) puisque pour eux aussi, la justification a obtenu la moyenne la plus élevée (4,26), suivie du développement (3,90)⁵⁸. Par contre, les dimensions de la source et de la certitude présentent une différence. Dans le cas de la présente étude, la certitude a surpassé le score de la

⁵⁸ Ces résultats ont été obtenus au Temps 1 de leur étude longitudinale.

source tandis que chez Conley, c'est la dimension de la source qui a obtenu la moyenne la plus élevée entre les deux (3,68).

Les dimensions dont les corrélations sont significatives entre elles, sont d'une part, la source en lien avec la certitude du savoir, et d'autre part, le développement en lien avec la justification du savoir. Le tableau 4.2 présente les corrélations entre les quatre dimensions. La source et la certitude du savoir s'associent puisqu'elles mettent en jeu des entités épistémiques similaires. Ainsi, la source du savoir peut supposer le recours à l'autorité et la certitude du savoir peut se traduire par une croyance absolutiste. D'autre part, le développement et la justification du savoir concernent tous deux l'activité scientifique, la vérification empirique, l'observation. Ces dimensions comportent des éléments similaires puisqu'elles sont liées toutes les deux à une certaine forme d'empirisme.

Tableau 4.2 Corrélations entre les quatre dimensions épistémiques

	Source	Certitude	Développement	Justification
Source	1	,447**	-,015	-,058
Certitude		1	,105	-,057
Développement			1	,600**
Justification				1

** La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

Les résultats de la présente étude présentent des points communs et des différences avec ceux de Conley *et al.*, 2004. Les corrélations significatives entre la source et la certitude ainsi que le développement et la justification sont présentes dans les deux études. D'autre part, chez Conley *et al.* (2004), les dimensions de la source et du développement présentent des corrélations significatives, contrairement à la présente étude. Ces différences se justifient peut-être par le fait que les contextes

d'investigation différent. La prochaine section analyse les réponses pour chacune des dimensions.

4.1.1.1 La source du savoir

En ce qui a trait à la première dimension (la source du savoir), les élèves accordent une importance mitigée aux informations présentées dans les livres de sciences. Pour eux, les livres ne contiennent pas la vérité absolue. Les résultats démontrent que 62 sur 142 répondants étaient en accord et fortement en accord avec le 2^e item « En sciences, tu dois croire ce qui est écrit dans les livres de sciences ». Ce résultat est cohérent avec leurs réponses à l'item 4 « Si tu lis quelque chose dans un livre de sciences, tu peux être certain que c'est vrai » puisque 55 élèves ont répondu qu'ils étaient en accord et fortement en accord avec cet énoncé. Cependant, il y a autant d'élèves qui sont en désaccord, ce qui contrebalance les résultats. Le doute au sujet de la valeur accordée aux livres de sciences est corroboré par les entretiens individuels dans lesquels les élèves ont exprimé clairement le caractère provisoire et incertain des informations retrouvées dans les livres scolaires.

Le savoir détenu par les scientifiques est remis en question par les élèves puisque ceux-ci ne leur accordent pas l'hégémonie du savoir. Les réponses à l'item 5 « Seuls les scientifiques savent assurément ce qui est vrai en sciences » sont assez partagées. Cependant, un bon nombre d'élèves (67 sur 142) ont répondu qu'ils étaient en désaccord avec l'item 1 « Tout le monde doit croire ce que disent les scientifiques » contre 20 en accord et fortement en accord. L'analyse de la perception du rôle des scientifiques dans la source du savoir scientifique coïncident avec les résultats des dessins de la représentation du scientifique puisque le rôle du scientifique y est diversifié et son omniscience est relative.

Quant au savoir de l'enseignant, les élèves n'ont pas vraiment d'opinion tranchée. Leurs réponses sont très partagées et n'indiquent pas de différence marquée. Par contre, lors des entretiens individuels, plusieurs ont manifesté un doute quant au savoir de l'enseignant, puisque selon les élèves questionnés, celui-ci peut consulter des livres désuets ou qui comportent des erreurs.

4.1.1.2 *La certitude du savoir*

La deuxième dimension concernant la certitude du savoir fournit des résultats qui convergent avec ceux de la première dimension. Ceux-ci font ressortir un désaccord avec le fait que la science détient « la » réponse et que la nature de la connaissance scientifique est immuable. Ainsi, l'idée de « la » bonne réponse en science est fortement critiquée par les élèves. À titre d'exemple, l'item 6 « Toutes les questions en sciences ont une seule bonne réponse » indique un taux plus élevé de réponses « fortement en désaccord » et « en désaccord » (total de 90 sur 142).

Par ailleurs, l'énoncé « arriver à la bonne réponse » amène différentes interprétations chez les élèves, puisque lors des entretiens individuels, certains élèves définissent « une bonne réponse » comme étant une hypothèse validée, un résultat attendu qui confirme une hypothèse. Donc, la bonne réponse serait ici tributaire d'une bonne question. En fait, la bonne réponse serait envisagée en fonction de l'investigation, ce qui diffère de la vision d'unicité de la réponse. Le fait d'ajouter « arriver » à la bonne réponse ajoute une notion d'activité, de démarche qui ne ressort pas dans la formulation de l'item 6 : « Toutes les questions en sciences ont une seule bonne réponse », une affirmation abrupte et catégorique qui ne suscite pas une interprétation diversifiée.

Concernant la vérité permanente des connaissances scientifiques et l'unicité de la réponse, les élèves croient à une certaine flexibilité de la vérité. Les résultats des items 9 et 10 ressortent beaucoup dans le pôle du désaccord : 87 élèves sur 142 sont en désaccord et fortement en désaccord au fait de dire que « Les connaissances scientifiques sont toujours vraies » tandis que 100 élèves sur 142 sont en désaccord et fortement en désaccord avec cet énoncé : « Une fois que les scientifiques ont un résultat après une expérience, c'est la seule réponse possible ». Au sujet du savoir des scientifiques, les réponses indiquent encore une fois que les élèves ne prennent pas pour acquis l'autorité du scientifique mais cela, dans une proportion partagée.

Les élèves ne croient pas majoritairement à l'importance de la concertation des scientifiques afin de valider une connaissance scientifique. À l'item 11 « Les scientifiques sont toujours d'accord entre eux sur ce qui est vrai en sciences », les pôles du désaccord (69 en tout sur 142) et de l'indifférence (39 neutres) surpassent le pôle positif (35 en tout). Ce résultat coïncide avec les dessins du test *Dessine-moi un scientifique* qui indiquent que les élèves perçoivent le travail du scientifique comme étant un travail plutôt solitaire. Cependant, la concertation est possible par d'autres moyens tels que la communication électronique, sans nécessairement nécessiter une présence physique des collaborateurs.

4.1.1.3 *Le développement du savoir*

La troisième dimension qui porte sur le développement du savoir comporte six items. Les résultats démontrent clairement que la majorité des élèves approuvent le fait que la science évolue avec le temps. Ainsi, un total de 111 élèves est en accord et fortement en accord avec l'énoncé « Aujourd'hui, certaines idées en sciences sont différentes de ce que les scientifiques pensaient autrefois ».

Par conséquent, la majorité des élèves doutent de la stabilité des idées présentées dans les livres de sciences (109 élèves sur 142 sont en accord et fortement d'accord). Ils croient que les livres doivent être mis à jour continuellement afin de présenter les connaissances scientifiques les plus récentes.

Au sujet des limites du savoir généré par les scientifiques, les élèves sont très sévères et ils expriment leur critique. Ainsi, à l'item 14 « Il y a certaines questions auxquelles même les scientifiques ne peuvent répondre », une forte majorité d'élèves expriment leur accord (116 élèves sur 142). Par ailleurs, la croyance des élèves au sujet de la nature dynamique des idées en sciences est confirmée puisque la majorité des élèves croient que les idées changent parfois en sciences, et ce, en fonction de nouvelles découvertes. À l'item 15 « En sciences, les idées changent parfois », 104 élèves sont en accord et fortement en accord. Les réponses à l'item 16 « De nouvelles découvertes peuvent changer ce que les scientifiques pensent être vrai » se démarquent de la même façon : un total de 107 élèves sur 142 se répartissent les réponses positives. Le même constat quantitatif est fait pour l'item 17 « Parfois, les scientifiques changent d'idée à propos de ce qui est vrai en sciences (89 en accord et fortement en accord). Cependant, pour cet item, un plus grand nombre d'élèves est neutre (43 élèves sur 142).

4.1.1.4 La justification du savoir

La quatrième dimension comporte neuf items et traite de la justification de la science, en d'autres mots, de la validation et de la démonstration de la preuve. Les données de cette dimension mettent en évidence l'importance que les élèves accordent à l'expérimentation et à la vérification expérimentale. Pour tous les items, les résultats indiquent un fort taux d'approbation des énoncés (de même valeur statistique).

Ainsi, pour la majorité des élèves, la science émerge de la curiosité, du questionnement et du fait d'avoir une idée initiale. La majorité des élèves croient aussi que l'expérimentation, faite de façon variée et plus d'une fois, permet de vérifier les idées et de décrire le fonctionnement des choses. Une moyenne de 103 élèves sur 140 a répondu être en accord et fortement en accord avec chacun des énoncés (de même valeur statistique).

Deux items diffèrent des autres dans cette dimension puisqu'ils se rapportent au rôle des scientifiques dans la construction des connaissances. À ce sujet, l'item 22 : « Les bonnes idées en sciences peuvent provenir de n'importe qui, pas uniquement des scientifiques » et l'item 25 : « Les idées en sciences peuvent provenir de tes propres questionnements et de tes propres expériences », rejoignent la première dimension qui traitait de la source du savoir et dont les réponses illustraient le doute des élèves sur l'unique contribution des scientifiques au savoir. Ainsi, un nombre de 99 élèves sur 142 croit que les scientifiques ne sont pas les seuls maîtres d'œuvre dans le développement des connaissances, ce qui s'apparente aux résultats de l'item 25 (91 en accord et fortement en accord).

Pour la grande majorité des élèves, le fait d'avoir une idée serait sans contredire la base de l'entreprise scientifique. Les items 19 et 21 traitent tous deux de l'avantage de faire des expériences plus d'une fois et de façons différentes afin de vérifier et de confirmer une idée. La réponse majoritairement positive à ces items démontre que les élèves sont dotés d'un certain sens de la preuve.

En conclusion, l'ensemble des résultats indique que les élèves ont une vision assez évoluée de la science puisqu'ils ne croient pas impunément à la détention du savoir par les scientifiques et ils affirment que la science change continuellement. De plus, selon la majorité des élèves, le savoir scientifique nécessite d'être justifié. La

relativité de la vérité en science est clairement reflétée par la majorité des réponses des élèves.

Les réponses des deux premières dimensions présentent une plus grande ambivalence. Le fait que les items soient formulés avec une valeur statistique négative brouille peut-être la compréhension des élèves. Les dimensions se chevauchent et se superposent. À titre d'exemple, la contribution des scientifiques au savoir est discutée dans deux dimensions : la source du savoir et le développement du savoir. L'origine du savoir est forcément liée à son développement. Les scientifiques contribuent à la fois à la naissance et à la croissance de la science, puisque la science est vivante et en continuelle évolution (ou révolution selon Kuhn, 1962/1983). La source se rapporte à l'autorité, au pouvoir de vérité que pourraient détenir les scientifiques tandis que la dimension du développement du savoir concerne l'activité des scientifiques ainsi que l'importance de la justification des connaissances. Dans ce contexte, la provenance des idées constitue la naissance d'un questionnement et, par conséquent, l'amorce d'une expérimentation.

4.1.2 Les dessins du scientifique

Les dessins du scientifique illustrent la perception des jeunes élèves de la nature de la science par le truchement de son principal investigateur : le scientifique. En plus d'y reconnaître des similitudes avec les résultats des études antérieures, notre analyse a relevé des manifestations des formes de raisonnements des élèves, plus particulièrement des raisonnements analogiques.

En premier lieu, chaque dessin a été analysé en fonction des paramètres précis qui ont été présentés dans le tableau 3.6 du chapitre précédent. La comptabilisation de ces éléments a permis de dresser le profil général du scientifique perçu par les élèves.

Cette étape descriptive conduit à une interprétation de la vision des élèves du scientifique à son travail. En second lieu, un regard a été porté sur les raisonnements analogiques sous-jacents aux dessins.

Caractéristiques physiques

En bref, le scientifique est en majorité un homme (87 élèves sur 142, 61 %) et la femme scientifique (55 élèves, 39 %) est souvent élégante et féminine : elle porte robe, bijoux et maquillage. Toutes les femmes scientifiques ont été dessinées par des filles à l'exception de quatre dessinateurs masculins. Le personnage est jeune (134 élèves, 94 %), presque autant de fois grand (49 %) que petit (51 %). Pour la majorité des élèves (95 élèves, 67 %), le scientifique est un être souriant et sympathique malgré le fait que quelques dessins représentent des scientifiques qui ont une expression de surprise, une expression perplexe, neutre ou méchante. Selon les élèves, le savant peut être autant fou qu'intelligent et beau. La majorité des personnages est coiffée normalement (65 élèves, 46 %), d'autres portent les cheveux droits sur la tête (29 élèves, 20 %), sont chauves ou presque. Le port du sarrau n'est pas généralisé : 68 élèves lui font porter le sarrau (48 %) contre 59 qui lui font porter une tenue ordinaire (42 %). La chemise est parfois sale ou trouée. Quatre scientifiques ont le torse nu.

La figure 4.1 présente un diagramme qui compare quelques caractéristiques physiques observées dans les dessins.

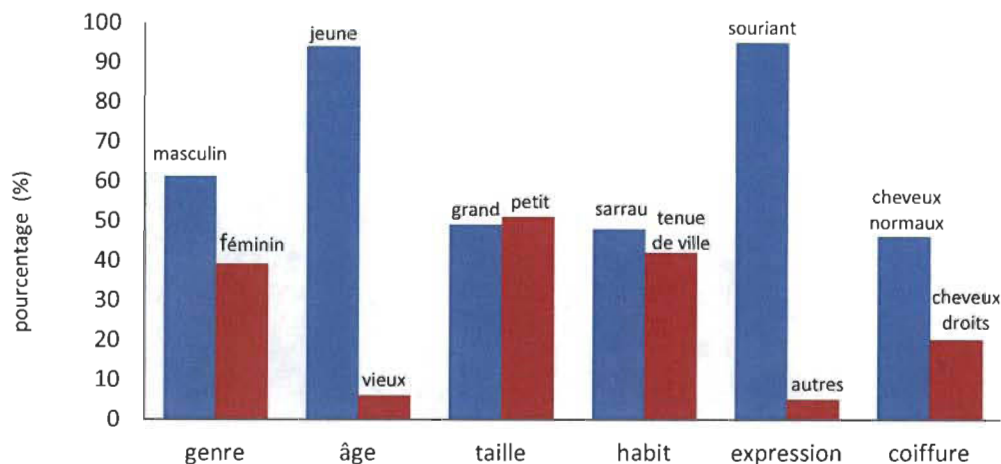


Figure 4.1 Caractéristiques des scientifiques en pourcentage

Accessoires et position

Quelques élèves ont muni leur personnage d'accessoires : lunettes protectrices, masque, crayon ou instrument dans la poche, mallette, casquette ou chapeau, cravate ou nœud papillon. Le scientifique tient souvent un contenant ou une fiole dans sa main. La presque totalité des élèves placent le scientifique debout (131 élèves, 92 %) devant une table (102 élèves, 72 %) qui supporte des fioles dont les produits sont en effervescence (108 élèves, 76 %). Le personnage pose, s'arrête pour la photo ou est en train de verser un produit.

Lieu de travail

Le scientifique est à l'intérieur (125 élèves, 88 %), dans une salle (70 élèves, 49 %) ou dans un laboratoire (50 élèves, 35 %), parfois identifié (5 élèves); il est rarement à l'extérieur (3 élèves). L'ameublement comporte une table, un bureau, une ou des étagères, une armoire, une bibliothèque, des accessoires tels un ordinateur (10 élèves

seulement), des affiches, un tableau, une poubelle, une boîte à compost, une cage d'animal, un prototype.

Le milieu est surtout ordonné (102 élèves, 72 %), parfois en désordre (13 élèves, 9 % et comporte peu d'éléments (66 élèves, 46 %). L'éclairage, rarement dessiné, vient du plafond (9 élèves, 6 %).

Activités du scientifique

Pour la grande majorité des élèves, le scientifique fait des expériences (118 élèves, 83%) dans le domaine de la chimie (117 élèves, 82 %). Les domaines des scientifiques varient : il est un astronaute, il cherche une forme de vie sur Mars, il prépare un médicament pour traiter une maladie, il cherche une solution au réchauffement planétaire, ou encore le scientifique cherche simplement un dossier sur les étagères. Une environmentaliste alarmiste et catastrophique a parlé de la fin du monde, un autre plus optimiste, de remplacer le pétrole. Pour quelques élèves, la médecine occupe les scientifiques : ils cherchent un vaccin, un antidote.

Ainsi, son rôle est de soigner (figures 4.2 et 4.3), (p. ex., *guérir la grippe H1N1*), de sauver la planète, de résoudre des problèmes, d'inventer. Certains dessins étonnent. À titre d'exemple, un élève explique : « Julie Payette observe un microbe pour trouver un médicament ». Un autre a dessiné un scientifique avec des ongles colorés et dit qu'il invente de la couleur à ongles (*q-tex*). Un élève explique que le scientifique fera un spectacle le soir. Plusieurs élèves lui font faire des tests sur des animaux.



Figure 4.2 Scientifique et médecine (1)
 (Adrien, 11 ans)



Figure 4.3 Scientifique et médecine (2)
 (Léa, 10 ans)

Toutefois, pour certains élèves, le scientifique a des pouvoirs limités : il peut faire des erreurs, rencontrer des échecs, rater des concours (figure 4.4), chercher sans trouver ou vouloir dominer le monde. Pour quelques-uns, il (ou elle) est visionnaire et annonce la fin du monde (figure 4.5).



Figure 4.4 Scientifique et concours
 (Alexia, 11 ans)



Figure 4.5 La fin du monde
 (Laurie, 12 ans)

Un élève original a écrit que le scientifique « fait n'importe quoi et finalement il trouve [...] » (figure 4.6). Un autre élève a écrit : « Des fois, il dit des choses qui sont fausses ». Il n'a donc pas toujours raison. À l'opposé, un élève a écrit que le scientifique va révolutionner le monde. Le danger est souvent illustré ou mentionné, les explosions abondent (figure 4.7).



Figure 4.6 Il fait n'importe quoi
(Mathis, 11 ans)



Figure 4.7 Explosion
(Léna, 10 ans)

Un solitaire

Le scientifique est seul (127 élèves, 89 %), rarement avec d'autres (5 élèves, 4 %), parfois dans une classe avec des élèves (2 élèves), avec un cobaye (1 élève) ou un robot (3 élèves) (figures 4.8 et 4.9).



Figure 4.8 Scientifique et son équipe
(Macha, 11 ans)



Figure 4.9 Scientifique professeur
(Gabriel, 12 ans)

Simplicité et magie

Chez les plus jeunes (classe de 3^e et 3^e-4^e années), le scientifique a souvent l'air d'un gamin (figure 4.10) et fait une expérience connue telle celle du volcan. Quelques élèves s'adressent à la chercheuse, (*une expérience pour Brigitte Laliberté*) (figure 4.11), l'ont dessinée ou ont placé le scientifique en contexte de flottaison. Un élève parle en « on » comme si lui-même était le scientifique. Les dessins sont minimalistes et présentent l'essentiel (bonshommes allumettes, visages sans bouche). Chez les plus jeunes, la magie est souvent présente (transformation en *loup-garou*, formule magique, *un arbre ressuscité*).



Figure 4.10 Un gamin scientifique
(Loïc, 9 ans)



Figure 4.11 Pour la chercheuse
(Sarah, 9 ans)

Le recours à la magie (potion) est aussi remarqué chez les élèves plus âgés (5^e année) (figure 4.12). La potion est souvent représentée par un mélange toxique (figure 4.13)



Figure 4.12 Potion magique
(Olivier, 10 ans)



Figure 4.13 Mélange toxique
(Léonie, 10 ans)

Dessins hétéroclites

Dans un groupe particulier, les dessins sont hétéroclites et antagonistes. Certains ont dessiné un scientifique qui fait des expériences anodines telles que mélanger des couleurs, tandis que d'autres sont plus machiavéliques. Les sujets d'études sont bizarres : des filles font exploser des grenouilles ou muter une mouche. Beaucoup d'élèves de cette classe ont dessiné le stéréotype du savant fou avec des cheveux droits (figure 4.14). Une scientifique est nommée Fofolle. Deux élèves ont parlé d'environnement. Un élève a dessiné un météorologue à l'extérieur. Un autre élève alarmiste annonce la fin du monde. Un élève a dessiné un serpent et des rats dans des cages. Tous ces dessins illustrent la diversité et l'idiosyncrasie qui caractérisent la pensée enfantine ainsi qu'une connaissance glanée autant dans les activités académiques qu'à l'extérieur de la sphère scolaire.



Figure 4.14 Stéréotype du savant fou
(Émile, 11 ans)

Raisonnements analogiques

Les référents analogiques sont nombreux. À titre d'exemple, un élève fait référence au film *Retour vers le futur* et a dessiné le héros du film. En général, les élèves illustrent le scientifique comme étant un personnage familier dans un environnement connu. Ils mettent en relations des éléments tirés de leur expérience personnelle. Ils choisissent des objets qu'ils manipulent eux-mêmes à l'école ou qu'ils ont vus à la télévision. Un scientifique est un personnage vivant dans l'imaginaire collectif. Les élèves font des liens avec leur vécu et infèrent la réalité du scientifique à partir de ce qu'ils voient dans leur environnement, à la télévision ou encore sur Internet et dans les jeux électroniques.

En conclusion, les résultats confirment que l'image traditionnelle du travail du scientifique transcende les époques et les régions, ce qui rejoint les résultats des études précédentes (Buldu, 2006; Mason *et al.*, 1991; Toussaint, 2004). La perception du chimiste dans son laboratoire perdure. Cependant, quoiqu'encore présentes, les visions dogmatique et mythique du scientifique s'estompent et quelques éléments d'une vision plus contemporaine s'implantent : les scientifiques peuvent être des

femmes, ils portent une tenue ordinaire, ils sont souriants (figure 4.16). Ils s'occupent d'environnement et de santé (figure 4.15). Ces résultats sont en grande partie similaires à ceux d'une étude menée par Lafosse-Marin (2007) auprès de 1000 jeunes français.



Figure 4.15 Scientifique et environnement
(Alex, 10 ans)



Figure 4.16 Femme scientifique
(Mélissa, 9 ans)

Les dessins des scientifiques recueillis dans la cadre de notre étude démontrent que la vision des jeunes québécois d'aujourd'hui intègre des valeurs et des idées tirées de leur expérience actuelle de jeune citoyen. Les jeunes élèves puisent dans leur environnement des repères connus et des référents analogiques qui forment leur compréhension du monde. La prochaine section traite des résultats liés aux raisonnements scientifiques dont les raisonnements analogiques.

4.2 Le raisonnement analogique

Les formes de raisonnement analogique ont été recueillies principalement à l'aide des carnets scientifiques. Les réponses des carnets ont été analysées de façon quantitative et qualitative.

4.2.1 Les réponses des carnets scientifiques

Les carnets scientifiques contiennent quelques phrases parfois illustrées par des dessins, et qui répondent aux trois questions qui ont été expliquées en classe lors de la mise en situation de l'expérimentation. Chacune des trois situations génère des raisonnements qui peuvent différer en fonction du contexte. Les types de raisonnement sont : causal (élaboré ou simple), expérimental (vérification ou observation), analogique (élément connu ou métaphore), et latent. Les réponses reflètent le degré de compréhension du phénomène de la flottaison et elles articulent les idées émises lors du processus de changement conceptuel.

Plusieurs formes de raisonnement peuvent être exprimées par le même élève dans la même réponse. Les raisonnements sont donc interreliés et se chevauchent. Après une analyse de contenu dont les indicateurs étaient les formes de raisonnement, la mesure de l'occurrence des types de raisonnement a été faite. Le tableau 4.3 présente l'occurrence des types de raisonnement relevés dans les carnets scientifiques des élèves.

Le raisonnement causal est celui le plus exprimé par les élèves. Des deux types de raisonnement causal, celui qui prédomine est le raisonnement causal simple (200). Le deuxième raisonnement le plus fréquent est le raisonnement expérimental basé sur l'observation (187). Une analyse fine des réponses des carnets indique que ces deux formes de raisonnement sont subtilement liées puisque les deux mettent en jeu l'observation. Dans ce cas, la raison observée définit une cause simple. En d'autres mots, la cause mentionnée par l'élève provient d'une observation; par exemple, l'élève observe que *le compte-gouttes se remplit d'eau (observation) et il devient plus lourd (cause), c'est pourquoi il cale.*

Tableau 4.3 Occurrence des types de raisonnements

Types de raisonnements		Nombre total	
causal (RC)	causal élaboré	88	288
	causal simple	200	
expérimental (RE)	basé sur la vérification	33	220
	basé sur l'observation	187	
analogique (RA)	élément connu	61	119
	métaphore	58	
latent (RL)		56	56

Le raisonnement expérimental basé sur une observation se distingue d'un simple constat qui s'effectue par une observation première. Lorsque l'élève fait une observation première, la réflexion n'est pas amorcée. Ce simple constat émis par l'élève est classé dans la catégorie du raisonnement latent puisqu'il découle d'une observation directe sans manifestation de raisonnement. Le raisonnement est en construction, il n'est pas achevé.

À la suite de la catégorisation des raisonnements relevés dans le carnet scientifique, la compilation dans la matrice corrélationnelle (SPSS 14.0) a fait ressortir les liens entre les types de raisonnements. Le tableau 4.4 présente les corrélations entre les types de raisonnements. Les deux formes de raisonnement analogique ont été regroupées sous l'annotation RA et le raisonnement causal (RC) englobe les deux formes sous-jacentes (par vérification et par observation).



Le raisonnement latent (RL) présente une corrélation significative avec les trois autres formes de raisonnement : le raisonnement causal (-,513**), le raisonnement expérimental (-,375**) ainsi que le raisonnement analogique (-,273**). Compte tenu du fait que le raisonnement latent a été nommé ainsi à cause de sa nature latente ou inachevée liée au processus d'élaboration explicative par l'élève, il n'est pas étonnant de retrouver des parcelles de chacun des raisonnements dans cette inférence embryonnaire émise par l'élève. De plus, ce résultat valide les liens subtils entre le raisonnement expérimental basé sur l'observation et le raisonnement causal simple qui met souvent en jeu une cause observée.

Tableau 4.4 Corrélations entre les types de raisonnements

	RC	RE	RA	RL
RC	1	,003	,202*	-,513**
RE		1	,013	-,375**
RA			1	-,273**
RL				1

** La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

* La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

Le raisonnement analogique et le raisonnement causal montrent aussi une corrélation significative (,202*). Afin d'expliquer le phénomène de flottaison et de déterminer une cause éventuelle, les élèves font souvent référence à des situations connues ou des objets familiers.

4.2.2 Les raisonnements et le changement conceptuel

Les trois situations ont généré des raisonnements adaptés à chacune d'elles. Une analyse fine des raisonnements issus de chaque situation est faite dans la prochaine section. Cette analyse précise le rôle des raisonnements dans le changement conceptuel.

Situation #1 : le ludion

Les élèves comprennent que l'air joue un rôle dans la flottaison du compte-gouttes. Plusieurs élèves ont expliqué clairement le fait que l'eau entre dans le compte-gouttes et l'alourdit. Ils indiquent qu'ils l'ont observé (p. ex., bulles d'air qui s'échappent). Certains omettent le fait que l'air est fait de matière et associe le vide à l'air : « Le compte-gouttes est *vide*, il n'y a que de l'air dedans ». Cette situation génère beaucoup de raisonnements de nature causale simple. Les causes mentionnées se regroupent ainsi :

Tableau 4.5 Catégorisation des causes exprimées lors de la situation #1

Cause	Formulation des élèves
poids	poids, pesant, lourd, léger
air	air, air compressé
pression	pression, pression de l'air, pression de l'eau, la pression fait un choc, présence de courant
autres	matériau, densité, l'eau rentre dans le compte-gouttes à cause de la densité, l'eau change de place

Les raisonnements analogiques sont constitués des éléments comparatifs suivants : *une bouée, un canard en plastique gonflable, une balloune, un bateau, des flotteurs, un « tire » (pneu)*. Certains raisonnements recèlent une valeur de systématisme entre les attributs communs; par exemple, lorsqu'un élève explique que c'est le *même principe que pour respirer, c'est comme l'air dans les poumons quand tu plonges*. Les élèves utilisent des métaphores : *attiré par l'eau, la pression surgit, la compression étouffe l'air*. D'autres réponses démontrent des aspects qui s'apparentent aux obstacles épistémologiques de Bachelard (1934/1967) : une connaissance pragmatique ou de l'anthropomorphisme; à titre d'exemples, *le compte-gouttes est fait pour, est obligé de, l'air veut, l'air décide, le compte-gouttes suit l'air*.

En somme, des erreurs conceptuelles mineures ne nuisent pas à la compréhension globale du mécanisme du ludion. Les élèves observent l'eau qui pénètre dans le compte-gouttes et associent la présence de l'eau à une augmentation du poids, ce qui explique le fait que le ludion coule.

Situation #2 : le sou et le bouchon de liège

Faire flotter ou couler un objet est une expérience anodine *a priori* mais quand on questionne les jeunes élèves, quand on scrute leur raisonnement, plusieurs idées logiques s'articulent. La trame conceptuelle générale est cohérente malgré les erreurs de nomenclature ou de formulation.

Pour les élèves, le liège est associé au bois, il ressemble au bois, il fait partie de la *famille du bois*. Faire l'analogie liège-bois ne nuit pas à la compréhension. C'est une croyance généralisée chez la plupart des élèves et qui comporte une part de vérité.

Les élèves expriment fréquemment des généralisations : « *Le bois flotte toujours, où que ce soit [...]* ». Au sujet du métal, ils écrivent : « *Le métal, ça cale. Le sou est un*

métal, donc le sou cale ». Le métal est toujours associé explicitement à son poids tandis que l'air est associé à la légèreté : « *L'air, c'est léger* ».

Le poids des deux objets est parfois comparé, par exemple, un élève écrit : « *Le bouchon est plus léger que le sou* ». Cependant, la comparaison n'est pas en rapport au poids du volume d'eau déplacée et ce, pour la plupart des classes, sauf celle de 5^e-6^e années. En effet, la considération de plusieurs variables a été faite par les élèves d'une classe de 5^e-6^e années qui avaient déjà fait des expériences sur la flottaison dans le cadre de leur cours de mathématiques (mention du livre Clicmaths⁵⁹). Ces élèves avaient déjà saisi les liens entre plusieurs variables, par exemple, le rapport masse-volume ou le rapport entre les forces en jeu : *l'eau soutient le bouchon; il y a des forces égales; l'objet est plus léger que l'eau; forme selon le poids; le flotter et le couler sont deux forces égales*. Le souci de nommer plusieurs facteurs était présent. À titre d'exemple, un élève annonce d'entrée de jeu qu'*il y a trois raisons : la forme, le poids et les trous*.

Bien que la majorité des élèves de cette classe affirme que le sou est plus lourd que le bouchon, seuls quelques-uns soulignent la relation de la forme en fonction du poids, ou encore du volume en fonction du poids : *le bouchon est plus gros et grand mais il n'est pas plus lourd à cause qu'il y a de l'air dedans; le sou: lourd, petit et mince donc l'eau ne peut pas soutenir le sou tandis que le liège est plus gros, très léger et donc l'eau est capable de le soutenir; même si le bouchon est super gros, il ne calera pas; pour de l'eau, un sou noir, c'est très lourd même si le bouchon de liège est plus gros, il flotte; tous les objets plus lourds que l'eau coulent*.

⁵⁹ Clicmaths est une ressource pédagogique utilisée en enseignement des mathématiques au primaire (Guay, Hamel et Lemay, 2003).

Dans cette classe, les élèves comprennent que la flottaison dépend d'un rapport de forces, que *le bouchon est moins lourd que l'eau* ou à l'inverse, que *le sou est plus lourd que l'eau*. Si on ajoute le qualificatif *déplacée* à l'eau, la formulation du principe d'Archimède est quasiment intégrale. Cependant, Inhelder et Piaget (1970) ont noté que les élèves mettent en relation le poids de l'objet qui flotte avec celui de l'eau mais « avec celui de l'eau contenue dans le récipient tout entier » (p.30). La mise en relation opératoire entre le poids et le volume ne serait donc pas acquise, selon leur point de vue axé sur le développement cognitif.

Lors de la manifestation du raisonnement causal, les causes mentionnées peuvent être catégorisées en fonction des idées exprimées par les élèves. Le tableau 4.6 présente les principales catégories de causes écrites dans les explications des carnets scientifiques lors de la situation #2.

Tableau 4.6 Catégorisation des causes exprimées lors de la situation #2

Cause	Formulation des élèves
air	air, poches d'air, oxygène
poids	léger, lourd, poids, masse plus élevée
matériau	métal, fer, cuivre, acier, bronze, ferraille, matériau, fibres de matière différente, caoutchouc
dureté	moins dur, mou, dur
forme	plat, rebord, gros, bonne forme, moins gros, en rond, pas assez épais, mince
forces	pression, tirant, gravité

Un raisonnement causal peut être très élaboré, et contenir des éléments explicatifs détaillés, ce qui correspond à un raisonnement mécaniste. Dans ce cas, les élèves décrivent des relations de cause à effet en chaîne, par exemple, un élève explique : « [...] *pas de rebord, l'eau embarque dessus, donc l'objet est plus lourd* »; un autre précise : « *Des trous permettent à l'air de pénétrer, l'air c'est léger donc l'objet flotte* » ou encore, « *L'eau rentre dans le compte-gouttes, donc, il devient plus lourd* ».

Dans la situation #2, le raisonnement analogique est constitué d'éléments comparatifs tirés de l'expérience des élèves. Afin d'expliquer la flottabilité, ces derniers font référence à des objets connus tels un *bateau, un cargot, le Titanic, une coque de bateau*; ils infèrent la présence de l'air dans l'objet, par ces exemples : *le canard soufflé en plastique, un ballon, une flotte ou des flotteurs*. Le raisonnement

analogique d'une élève recèle une valeur de systématisme puisque les attributs communs entre la source et la cible définissent le fonctionnement de la flottaison, c'est-à-dire le fonctionnement de la respiration; à cet effet, un élève écrit : « *Par exemple, moi, dans l'eau, je flotte parce que j'ai de l'air dans moi* ». Ils comparent le liège au bois : *le liège est comme un gros billot de bois, comme du bois, le liège c'est du bois, un genre de bois, dans la famille du bois, fait avec du bois et de la mousse, bois fin et léger*. La flottaison du bois dans les cours d'eau est connue et fournit des repères cognitifs : « *Les bûcherons font passer ça [le bois] par l'eau* ».

Quant à la non-flottabilité, les élèves comparent le sou qui coule à une roche. Un élève parle de l'éponge imbibée d'eau. Encore une fois, les élèves du groupe de 5^e-6^e années rappellent une expérience déjà vécue : *travail déjà fait, expérience déjà faite dans Clicmaths*.

La portée métaphorique des raisonnements des élèves prend plusieurs formes. Les élèves utilisent de nombreuses métaphores. À titre d'exemples, au sujet du sou, ils disent que *les particules sont trop soudées; il est rempli, plein de métal, la monnaie est pleine, la cent est fermée, la cent est vide d'air, le sou est dur et plein, compact*. Cette notion de « rempli » avait été remarquée par Inhelder et Piaget (1970) qui l'associaient aux limites de la pensée opératoire. Cependant, le langage métaphorique assure une description personnalisée du phénomène observé. Plusieurs élèves attribuent au sou une capacité de nature anthropomorphique : *la cent ne peut pas respirer dans l'eau, le métal ne respire pas, le bois respire, le sou veut couler, le sou cherche à descendre, cherche à couler, le bouchon cherche à monter*, ou animiste : *l'eau le [le sou] faisait glisser, le sou fait un chemin différent, aspire l'air, bloque l'air, aspire l'eau*. Pour d'autres, le sou est empreint d'une certaine force et il est engagé dans un combat : *le liège est plus puissant que le sou, ultra solide, le bouchon*

possède une *puissance*, *la brique va gagner*, *sa capacité l'emporte*, *l'air ne sera pas aussi fort*, *c'est l'air qui gagne*.

Le discours des élèves contient des traces de substantialisme : *le bouchon flotte parce qu'il est fait de matériau qui flotte, de bois, de liège*, [le sou] *est fait de fer alors il coule*, *le sou coule parce qu'il est en métal*, *le bouchon est recouvert d'un produit spécial qui empêche l'air de s'évacuer* et de connaissance pragmatique : *les bûcherons font flotter le bois alors c'est pour ça que ça [le bouchon de liège] flotte*, *le bouchon est fait de choses flottantes*.

Les explications à la fois fantaisistes et logiques illustrent l'ingéniosité des élèves. Malgré son caractère substantialiste, l'explication suivante : *Le bouchon de liège est recouvert d'un produit spécial qui empêche l'air de s'évacuer* est farfelue et ingénieuse et elle démontre que l'élève a compris que l'air joue un rôle tout en imaginant une solution.

En conclusion, l'enchevêtrement et l'amalgame des types de raisonnement favorisent la compréhension conceptuelle. L'utilisation d'un ensemble d'inférences, de formes variées de raisonnement et d'images diverses, provoque un va-et-vient intellectuel, une mouvance de l'esprit. Ces jeux cognitifs de la pensée participent sans doute à induire le changement conceptuel.

Situation #3 : le papier d'aluminium

Lors de cette expérimentation, les élèves ont fait beaucoup d'essais, ils ont modelé de nombreuses formes variées. Lors des manipulations, ils ont effectué des observations directes. Les élèves ont souvent exprimé des constats et ont fourni quelques explications causales simples. Dans une classe plus avisée, parce que déjà initiée au

phénomène de la flottaison, les causes sont plus détaillées et mettent en relation plusieurs variables.

Selon le principe d'Archimède, « la force verticale est égale au poids du volume du fluide déplacé ». Plus l'objet déplace un grand volume de fluide, plus la poussée d'Archimède sera grande et plus il flottera; c'est ce qui explique en quoi la forme de l'objet influe sur sa flottabilité. Le volume de l'objet plus grand déplace donc plus d'eau. Ce ne sont donc pas les rebords mais le volume d'eau déplacé qui importe. Or, la majorité des élèves justifie la capacité de flotter par le fait que l'objet a la « forme de bateau » et qu'il a des rebords qui empêchent l'eau de passer par-dessus. Même si les élèves n'ont pas écrit que le poids de l'eau faisait couler le *bateau*, ils le sous-entendaient. C'est donc une inférence implicite.

La comparaison à un bateau semble contenter les élèves. Les élèves pensent que si un bateau flotte, alors une forme de bateau flottera (connaissance pragmatique de Bachelard, 1934/1967). Le bateau prend différentes appellations : *canot, mini-bateau, radeau, coque de bateau*.

Le rapport surface-volume déplacé a été mentionné par deux élèves. Une élève a mentionné la répartition du poids; une autre a parlé de *longue surface, de grosse largeur*. D'autres ont choisi des formes qui s'apparentent à des objets connus (*comme un couteau, en pointe*) ou des positions familières (*debout vs couché, horizontal et vertical, petit et gros*).

En plus du bateau, les formes les plus courantes que les élèves ont façonnées sont : en boule ou sphérique, plat, plié, sans plis, droit, vertical ou debout, horizontal ou couché. Le choix de la forme stimule le raisonnement analogique. Ainsi, les enfants associent la forme modelée à des objets connus : *une espèce de nid avec un creux,*

comme un bol, comme un couteau, en forme de serpent, un egg-roll, un rouleau. Les élèves expérimentent en transformant le papier d'aluminium : ils font un trou, une fente, des rebords, des rebords remontés; ils le chiffonnent, le compressent, l'aplatissent. Une grande variété de causes qui expliquent la flottabilité est mentionnée : la grosseur (petit-gros), mince, léger, mince-léger, épais-lourd, en triangle, en rectangle, en pointe. Un élève différencie les figures planes des solides : *non 3D : triangle, rectangle, carré et 3D : cylindre, cube.*

Plusieurs éléments explicatifs ont intéressé les élèves, telles que l'eau qui ajoute du poids et l'air à l'intérieur de la forme. Selon la majorité des élèves, l'air à l'intérieur d'une forme fait flotter. En bref, la troisième situation expérimentale a généré de nombreux tâtonnements, parfois au détriment d'une réflexion approfondie. Afin d'obtenir des réponses plus rigoureuses, il aurait fallu faire une enquête guidée, questionner les élèves, et contrôler les variables; par exemple, s'assurer que les morceaux de papier d'aluminium soient de même taille, aient la même masse, soient déposés de la même manière dans l'eau, etc. Les entretiens individuels ont permis de raffiner l'accompagnement des élèves dans leur réflexion et de mieux saisir leurs raisonnements multiples.

4.3 Les corrélations entre l'épistémologie personnelle et les types de raisonnement

L'analyse statistique a mis en relation les données concernant les dimensions épistémiques et les types de raisonnement. Le tableau 4.7 présente les corrélations de Pearson obtenues. Les résultats démontrent que seule la deuxième dimension (la certitude) se démarque par une corrélation significative avec toutes les formes de raisonnement, le raisonnement analogique obtenant le score corrélationnel le plus élevé.

Tableau 4.7 Corrélations entre les raisonnements et les dimensions épistémiques

	Source	Certitude	Développement	Justification
RC	,047	,246**	,102	,152
RE	-,026	,229**	-,137	,044
RA	,089	,288*	,099	,100
RL	,092	-,264**	-,030	-,085

** La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

* La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

La certitude du savoir concerne le fait que la science est immuable, que les scientifiques détiennent l'autorité du savoir. Cette dimension désigne les théories personnelles des élèves à propos du degré de certitude attribuée aux connaissances scientifiques, représentées soit comme définitives, arrêtées une fois pour toutes et peu soumises à la révision. Lors des entretiens individuels⁶⁰, les élèves ont manifesté clairement leur critique face à l'hégémonie de la bonne réponse, unique et immuable que la science fournit. Cette dimension a interpellé les élèves et la corrélation avec tous les types de raisonnement s'inscrit dans ce contexte.

Un aspect des résultats obtenus ébranle une présomption inhérente à l'étude. En effet, la dimension de la justification du savoir aurait pu, théoriquement, être congruente avec l'utilisation du raisonnement expérimental. En principe, une vision à prédominance empiriste de la science met en jeu des raisonnements qui privilégient la vérification, le sens de la preuve. Cependant, à cet égard, d'autres résultats de la présente étude confirment cette présomption puisque l'occurrence élevée des raisonnements de nature expérimentale retrouvée dans les carnets scientifiques (tableau 4.3) est congruente avec la moyenne la plus élevée obtenue pour la

⁶⁰ Voir la prochaine section qui présente l'analyse des entretiens individuels.

dimension de la justification de la science (tableau 4.1). L'analyse corrélacionnelle des raisonnements et des croyances épistémiques des élèves nécessiterait donc un approfondissement.

Les résultats recueillis apportent un éclairage sur la complexité des relations entre les croyances épistémiques, le raisonnement analogique et le changement conceptuel. D'autres instruments méthodologiques ont complété les données en étayant le discours des élèves et en illustrant leur engagement dans le changement conceptuel. La prochaine section présente les données complémentaires recueillies à l'aide d'entretiens individuels et lors du filmage des enfants en action.

4.4 Les données complémentaires

Lors des entretiens individuels, les élèves questionnés (12 sur 142) ont explicité leur point de vue, ils ont précisé leurs arguments. Les images vidéo ont aussi validé certaines observations en lien avec l'engagement dans le changement conceptuel.

4.4.1 Les entretiens individuels

Les entretiens individuels⁶¹ ont fourni des informations liées aux raisonnements opérés par les élèves lors de l'explication du processus de la flottaison ainsi qu'à leur épistémologie personnelle.

Les raisonnements

L'analyse qualitative des 12 entretiens individuels confirme certains constats en lien avec la diversité des raisonnements effectués par les élèves. En effet, la plupart de ces

⁶¹ Le canevas de l'entretien est en appendice.

élèves utilisent toutes les formes de raisonnement tant dans la discussion générée par le rappel des trois situations que dans les nouvelles expérimentations.

Concernant l'usage du raisonnement analogique, celui-ci est plus fréquent oralement que par écrit. À titre d'exemple, une élève particulièrement expressive et volubile se démarque par son usage abondant du raisonnement analogique : elle compare souvent, elle fait souvent référence à des expériences personnelles déjà vécues ou à sa culture personnelle (p. ex., *baignade dans la mer, connaissance de produits utilisés à la maison, etc.*).

Oralement, le raisonnement analogique est utilisé naturellement par les élèves, en particulier afin de mieux décrire une situation ou afin d'illustrer par un exemple vécu l'explication donnée au sujet du phénomène observé. Le raisonnement analogique renforce le discours explicatif. Il illustre le propos. Il joue ainsi un rôle dans le processus de changement conceptuel. À maintes occasions, les élèves utilisent un vocabulaire métaphorique. Leur langage est truffé d'expressions originales et inventives (p. ex., *la mélasse est un liquide grassex*).

Le rappel des trois situations expérimentées en classe a permis d'explicitier les réponses des élèves. Cette partie de l'entretien n'a pas apporté beaucoup d'informations nouvelles aux explications personnelles des élèves. En général, les élèves ont peu élaboré au sujet des réponses déjà fournies dans le carnet. L'entretien a renforcé la trame explicative et précisé les idées sans en ajouter. Les nouvelles expériences de la deuxième partie de l'entretien les intéressaient davantage. Quelques élèves plus loquaces ont exprimé clairement leur point de vue. Il est intéressant de remarquer que leur discours comporte de nombreuses images et comparaisons.

Des extraits de dialogues ont été choisis en fonction des raisonnements sous-jacents au discours des élèves et de leur rôle dans les changements conceptuels. L'extrait suivant illustre le raisonnement d'un élève qui explique le fonctionnement du ludion.

Antoine⁶² : C'est comme si ... quand on pèse, c'est que le compte-gouttes, il descend assez vite, ce qui fait que moi je dis que c'est comme le compte-gouttes, il prend une place dans la bouteille, c'est comme quand je prends mon bain, si je m'en vais dans le bain, l'eau elle va monter.

Dans le prochain extrait concernant la flottaison du bouchon de liège, l'élève utilise le raisonnement analogique afin d'expliquer la présence de l'air dans le liège.

Jérémie : C'est comme un arbre, ça respire, c'est comme vivant comme nous autres, tandis que le métal, c'est fait à partir de matériau pour que ça fasse la pièce...ce qui fait que c'est très soudé, donc, l'air elle peut comme pas pénétrer.

Chercheuse : D'accord, et le bois, tu dis que c'est vivant?

Jérémie : Bien l'arbre, on dirait c'est comme il respire si on pourrait dire, si on peut faire une image mentale, il respire... c'est ce qui fait qu'en-dedans aussi, les particules, bien, je crois, les particules en-dedans sont pas toujours tout à fait collées ensemble, ce qui fait qu'il y a l'air qui peut passer...

Chercheuse : Bien. Est-ce qu'il peut y avoir des objets qui ne sont pas vivants, qui ne respirent pas, et qui flottent?

Jérémie : Bien... oui, ça se pourrait, exemple je pense, comme tu lisais dans mon texte, je pense que le carton peut flotter sur l'eau sauf qu'à un moment donné, exemple qu'il devient trop mouillé, il va caler parce que l'eau va comme rentrer à l'intérieur du carton.

⁶² Les prénoms des enfants sont fictifs.

Dans le cas de l'expérience de l'œuf dans l'eau salée, le discours explicatif des élèves comporte des références à l'expérience personnelle et de nombreuses idées imaginatives. Cette expérience a suscité la curiosité et a semé le doute chez les élèves. Sophie explique la flottaison dans l'eau salée par l'observation ainsi que le raisonnement analogique.

Sophie : De l'eau salée, ça flotte plus.

Chercheuse : Pourquoi?

Sophie : Parce que moi, je suis déjà allée en Floride, et là, il y a la mer. (expérience personnelle)

Chercheuse : et...?

Sophie : ... et parce que le sel lui, il gigote, il n'est pas tout calé, en-dessous, regarde, on voit des petits grains de sel partout, le sel, il flotte un peu partout. (observation)

Chercheuse : OK

Sophie : ... puis il vient un peu se coller à la balle de golf, puis c'est comme si ça faisait une bouée. (raisonnement analogique)

Le prochain extrait illustre le fait que les élèves peuvent changer d'explication en cherchant une solution. À la question *Qu'est-ce qui arrive à la balle?* Jérémie va d'une idée à l'autre.

Jérémie : On dirait qu'elle veut remonter, c'est peut-être que le sel veut rester dans le fond ce qui fait que ça la pousse.

Chercheuse : Le sel la pousse?

Jérémie : Mais c'est peut-être aussi avec l'air chaud qu'il y a dans l'eau....euh....

Les élèves cherchent une explication. Ils intègrent un vocabulaire scientifique (p. ex., pression, résistance) dans leur réflexion.

Maxime : Ça fait une petite pression, il fond... pis ça fait quelque chose à l'eau sûrement, donc, comme ça, tu mets ta balle puis, ça fait une résistance, puis elle flotte.

Jean : ... parce qu'il y a comme le sel qui va pousser la balle de golf en-haut.

Le prochain échange illustre la combinaison de raisonnements dans la trame explicative d'une élève.

Marie : Peut-être parce que ça dégage des espèces de gaz qui vont dans l'eau qui font remonter les objets. (raisonnement expérimental basé sur l'observation)

Chercheuse : D'accord, ça dégagerait du gaz...où est-ce qu'il se trouve le gaz, parce que si ça faisait du gaz, il y aurait des bulles ?

Marie : Ouais, les bulles, sur le dessus... (observation)

Chercheuse : il y a des bulles sur le dessus...

Marie : C'est comme de la broue blanche. (raisonnement analogique)

Chercheuse : de la broue blanche... c'est peut-être à cause du sel, où est-ce qu'il s'en va le sel?

Marie : Bien, il se défait, il fond. (raisonnement causal simple)

Cette séquence montre l'effort de l'élève de trouver une explication en combinant l'observation et la causalité.

Elliot : Il y a toutes des petites bulles qui vont la soutenir.
(observation)

Chercheuse : des petites bulles qui vont soutenir ...

Elliot : des bulles d'air, c'est peut-être pas des bulles d'air mais des bulles de pression (rire). (causalité)

Lors de l'expérience des liquides superposés, beaucoup d'expressions métaphoriques décrivent les liquides, par exemple, *c'est liquide mais comme en paquet... Ça a l'air genre plus mou que liquide, c'est plus pâteux, c'est comme un peu de la glue.* L'utilisation généreuse de métaphores lors de la description d'une structure ou d'une substance avait été remarquée par Jakobson et Wickman (2007). Pendant l'expérimentation, une élève fait référence à ce qu'elle connaît et elle renforce sa pensée avec des images descriptives combinées à un raisonnement expérimental.

Chercheuse : On va mettre de la mélasse.

Léa : Oh! Mon père met ça sur ses crêpes !

Chercheuse : Ensuite, on met de l'huile végétale.

Léa : Ce sont tous des trucs à cuisson.

Chercheuse : On termine avec l'alcool à friction.

Léa : L'alcool à friction ... ma mère elle met ça sur ses boucles d'oreilles ... des fois ...

Léa : Bien, je veux dire, c'est pas comme la mélasse, c'est pas comme quand tu le touches, tu le sens que c'est motonneux un peu.

Chercheure : D'accord, puis c'est pour ça que ...

Léa : Le gras c'est plus que mais ... ce qui est gras c'est un peu plus motonneux, c'est un peu plus lourd [...] admettons qu'on prendrait euh... deux boîtes de mélasse, une remplie de mélasse et l'autre remplie d'eau, on verrait que l'eau normalement devrait être plus légère ... il me semble. (raisonnement expérimental)

Léa : ils n'ont pas la même masse.

La description des liquides est appuyée par de nombreuses comparaisons :

Alexis : [...] on dirait que ça peut faire comme un peu de la gélatine.

Marie : [...] pour ma fête on avait fait ça mais c'était comme de la grenadine, du jus d'orange, du jus de poireaux pis du jus d'ananas, le jus d'ananas, il est plus clair, bien, chez nous en tout cas, c'est ça qui est arrivé... il est plus clair, ça fait qu'il flottait tout le temps.

En résumé, les entretiens ont fait ressortir le fait que les élèves sont avides de nouvelles expérimentations. Curieux, ils choisissent l'inconnu et l'insolite. Ils combinent souvent l'observation et divers types de raisonnement. Oralement, les référents analogiques abondent et se déclinent sous différentes formes : la référence à l'expérience personnelle, l'usage de métaphores, la comparaison avec des éléments familiers. De plus, la description de substances stimule les raisonnements analogiques. À l'instar de Huang (1931), nous avons observé que les enfants

recherchent une explication, ils ne craignent pas le ridicule et inventent des solutions souvent logiques basées sur des raisonnements parfois contradictoires et inachevés.

Les entretiens faisaient aussi un rappel sur les items du questionnaire portant sur les croyances épistémiques. Quelques extraits révélateurs sont présentés.

L'épistémologie personnelle

Les entretiens individuels ont apporté quelques précisions au sujet de la perception des élèves de la nature de la science et de son développement. Concernant les réponses chiffrées aux quatre questions ciblées, les élèves ont justifié leur choix soit en donnant un exemple, soit en reformulant leur croyance épistémique. Quelques exemples significatifs démontrent que les élèves font preuve d'une épistémologie évoluée et non absolutiste en rapport au développement et à la stabilité de la science.

Au sujet de l'item « Tout ce que l'enseignant dit dans la classe de sciences est vrai », les élèves explicitent :

Antoine : Sauf que des fois, ils peuvent se tromper parce que les cahiers peuvent avoir des défauts de formation, par exemple, quand on l'a fait, il peut y avoir un petit défaut qui a surgi.

Émilie : C'est parce qu'ils découvrent tout le temps des affaires nouvelles pis des fois, elle peut pagner ça dans un livre.

Émilie : Puis des fois, ce n'est pas vrai dans le livre [...] parce que des fois, ils découvrent quelque chose et ils n'ont pas eu le temps de le mettre dans le livre.

Jérémie : Bien moi je dis que c'est en accord, mais pas tout le temps, pas fortement en accord, vu qu'il y a peut-être des affaires que c'est encore dans le doute.

À l'item « Le plus important en faisant des sciences c'est d'arriver à la bonne réponse », les réponses des élèves sont très réalistes et admettent l'incertitude et la sérendipité de la science.

Antoine : Bien, ce n'est pas toujours important d'arriver à la bonne réponse parce qu'en cours de formation, tu peux trouver une réponse à une autre question qui n'a pas encore été expérimentée.

Jérémie : Moi je suis en désaccord, parce que même si tu n'arrives pas à la bonne réponse, bien au moins tu as fait des sciences, tu as essayé... tu as fait du tâtonnement, tu as peut-être même découvert autre chose.

Deux élèves ont exprimé leur perception de la science en ces termes : *Ça te questionne tout le temps* (Marie, 9 ans) ou *Plus tu sais des choses sur la vie, plus tes idées vont devenir plus claires sur plein de choses* (Clara, 10 ans). Ces déclarations dénotent une perception de la nature évolutive de la science.

En bref, les entretiens individuels ont précisé le scepticisme des élèves à l'égard de l'autorité de l'enseignant, des livres scolaires et de la science en général. Les 12 élèves questionnés semblent conscients de la nature évolutive et éphémère du savoir. Le fait de questionner individuellement certains élèves a fait la lumière sur leur perspicacité et leur vision critique de la science. La complémentarité des outils de collecte de données quantitatives et qualitatives a permis de raffiner l'analyse du discours des élèves, particulièrement en ce qui a trait à l'épistémologie personnelle.

4.4.2 Les séquences vidéo

Les séquences vidéo ont été découpées en fonction des épisodes mettant exclusivement en action les 12 élèves qui ont fait l'entretien individuel. Les images recueillies ont été analysées à partir des comportements qui démontraient des indices d'engagement cognitif dans le déroulement de l'expérimentation. Dans l'ensemble, les 12 élèves ciblés manifestaient un grand intérêt, ils participaient aux questionnements et aux discussions, ils proposaient des solutions, ils manipulaient beaucoup. Certains élèves étaient leaders, d'autres intervenaient de façon plus modérée.

Dans un contexte de cognition distribuée, tous les élèves participent au changement conceptuel. Ils contribuent à l'éveil de l'intelligence collective et à la construction du savoir. L'analyse des images vidéo a renforcé l'observation de l'engagement des élèves dans le processus de changement conceptuel. L'engagement dépend des caractéristiques des élèves mais aussi de l'environnement éducatif. L'interaction dynamique des élèves et du matériel (*to-be-learned material*) façonne l'engagement dans le processus de changement conceptuel (Dole et Sinatra, 1998).

Lorsqu'il était nécessaire, les séquences vidéo ont appuyé les résultats liés à l'observation de l'engagement cognitif des élèves lors d'expérimentations en classe de sciences. Cet engagement est garant du changement conceptuel.

4.5 Conclusion

À la lumière de l'analyse quantitative et qualitative des résultats de notre étude, quelques points saillants émergent. En premier lieu, il ne fait aucun doute que les élèves possèdent des croyances épistémiques qui modèlent leur vision de la science et leur épistémologie personnelle. Les croyances épistémiques des élèves, relevées à

l'aide du questionnaire de Conley *et al.* (2004) façonnent l'esprit des élèves et influencent forcément leur engagement dans le processus de changement conceptuel. Les dimensions qui décrivent l'épistémologie personnelle ont obtenu des moyennes situées dans la strate supérieure de l'échelle de Likert. Par conséquent, les élèves possèdent une vision relativement évoluée de la science, ce qui est validé par leurs propos recueillis lors des entretiens individuels. Les dessins du scientifique ont révélé la part d'imaginaire de la vision des enfants ainsi qu'une certaine modernisation de la vision mythique et dogmatique traditionnellement trouvée dans les études antérieures qui ont utilisé le test *Dessine-moi un scientifique*.

En second lieu, les élèves utilisent plusieurs formes de raisonnements lors d'expérimentations en classe de sciences, plus spécifiquement dans le cadre de l'étude de la flottaison. Le raisonnement analogique, exprimé surtout oralement par les élèves, contribue de façon tangible à la mise en œuvre du changement conceptuel. Le raisonnement causal a été largement utilisé dans les trois situations expérimentales. L'observation lors des expérimentations a joué un rôle majeur dans la restructuration des idées initiales. Finalement, les corrélations entre les types de raisonnements utilisés dans l'explication du phénomène de la flottaison et les dimensions épistémiques présentent des résultats statistiquement significatifs mais à un faible degré. La dimension de la certitude se démarque autant dans les résultats quantitatifs que dans les entretiens individuels. Les élèves doutent que les connaissances scientifiques soient uniques, définitives et immuables; ils croient plutôt qu'elles sont continuellement soumises à la révision.

L'analyse des résultats conduit à l'élaboration des réponses aux questions de la recherche, ce que le prochain chapitre présente.

CHAPITRE V

DISCUSSION

Cette étude confirme la complexité et l'ambiguïté de la cognition enfantine et de l'épistémologie personnelle des jeunes élèves dans l'apprentissage des sciences. Dans ce chapitre, la discussion porte d'abord sur les trois questions initiales de l'étude. En second lieu, nous traitons des conclusions qui découlent des résultats de notre étude en fonction des thématiques conceptuelles suivantes : l'épistémologie personnelle, le changement conceptuel, le raisonnement et le phénomène de la flottaison.

5.1 Les questions de recherche

Les questions posées dans le cadre de notre étude concernent l'incidence des croyances épistémiques et du raisonnement analogique sur le changement conceptuel lors de l'exploration de la flottaison. Les liens qui unissent le raisonnement analogique et l'épistémologie personnelle ont aussi fait l'objet de notre étude.

5.1.1 La première question de recherche

Comment les raisonnements analogiques effectués par des élèves du primaire lors de l'exploration du phénomène de la flottaison influencent-ils les changements conceptuels ?

La flottaison est un contexte qui génère de multiples raisonnements chez les jeunes élèves. À la lumière des résultats de notre étude, force est de conclure que la cohabitation de plusieurs formes de raisonnements complexifie le processus de changement conceptuel en apprentissage des sciences au primaire. Ces raisonnements contribuent de façon synergique à l'édification du savoir par les jeunes élèves. La

richesse et le polymorphisme des raisonnements opérés par les élèves démontrent que le changement conceptuel n'est pas linéaire. Au contraire, les idées s'enchevêtrent et s'amalgament afin de construire une explication et de générer une trame explicative.

Notre étude a démontré que les enfants sont des « raisonneurs compétents ». Elle a mis en exergue la compétence des élèves à opérer des changements conceptuels à l'aide de raisonnements de formes variées dont les raisonnements causal, expérimental et analogique.

Lors de l'exploration de la flottaison, l'utilisation du raisonnement causal prédomine en termes de fréquence. Cette forme de raisonnement, inhérente à la justification conceptuelle, a été exprimée généralement de façon simple, sans détails mécanistes ou explicatifs. Les élèves ont trouvé des causes à partir d'observations faites en cours d'expérimentation. L'observation a alimenté la réflexion causale puisque la plupart du temps, la cause avait été observée au préalable. En classe de sciences, les indices recueillis par les sens initient le raisonnement et jouent un grand rôle dans le processus de changement conceptuel. Par ailleurs, l'occurrence élevée du raisonnement causal ne lui confère pas nécessairement une plus grande puissance cognitive puisqu'une cause exprimée peut parfois être fausse ou non valide.

Des liens significatifs entre le raisonnement causal et le raisonnement analogique ont été relevés à l'aide de l'exercice statistique corrélationnel qui a mis en relation les types de raisonnements entre eux. Afin de déterminer une cause, les élèves font souvent référence à des situations connues ou des objets familiers. La prédominance du raisonnement causal comporte donc une affiliation avec les autres formes de raisonnement, dont le raisonnement analogique.

La part du raisonnement analogique a été remarquée plus particulièrement dans le discours oral et dans le discours descriptif des jeunes élèves. À la lumière des résultats obtenus, ce type de raisonnement est utilisé généreusement lors d'explications verbales et afin de décrire un phénomène observé. Les référents analogiques représentent des balises cognitives dans la construction d'une trame explicative. L'évocation de l'expérience personnelle, la comparaison à un élément connu ou l'utilisation de métaphores constituent des repères cognitifs pour les élèves lors de leur quête d'une compréhension conceptuelle. Dans le cadre de notre étude, les élèves ont utilisé le raisonnement analogique de façon naturelle lorsqu'ils expliquaient leur compréhension de la flottaison. Leur discours explicatif s'est construit à l'aide de comparaisons et de références à leur expérience personnelle. Parfois, ils ont puisé dans leur formation académique reçue avant la réalisation de notre étude.

Il faut cependant apporter quelques nuances aux résultats obtenus en rapport à la manifestation du raisonnement analogique. L'activité cognitive qui caractérise le raisonnement analogique se rapporte à la modélisation qui met en relation un registre empirique et un registre explicatif. Ce type de raisonnement surgit à partir d'une construction de l'esprit qui se substitue à l'objet réel et génère l'ensemble des opérations intellectuelles. Il fait référence à un réel complexe, il est une construction mentale manipulable en vue d'assurer une fonction explicite. Par conséquent, le raisonnement analogique est sous-jacent au discours, il n'est pas nécessairement perceptible. Les élèves construisent un modèle mental dont les fonctions heuristiques et explicatives sont fortement liées aux ressources théoriques qui ne sont pas systématiquement exprimées verbalement.

Lors de l'exploration de la flottaison, la majorité des raisonnements analogiques relevés dans le discours des élèves comportaient des similarités superficielles entre la

source et la cible. Les analogies étaient formées d'attributs communs simples. Quelques cas de similarités fonctionnelles ont mis en évidence les relations internes entre les objets de la source et de la cible, ce qui démontrait une meilleure compréhension de la part des sujets (Curtis et Reigeluth, 1984). Par exemple, le fait de comparer le comportement du ludion à celui d'un plongeur implique un mécanisme causal lié à la pression de l'air, au volume et l'effet du poids de l'objet en immersion. Les raisonnements analogiques dont le critère de systématisme prévalait ont assuré l'engagement cognitif des élèves dans le changement conceptuel. En d'autres mots, le potentiel d'appariement entre les constituants que sont la source et la cible a déterminé la valeur cognitive des raisonnements analogiques. Même si les catégories d'analogies variaient et possédaient un potentiel d'appariement rarement élevé, elles ont renforcé la réflexion des élèves.

En plus de la valeur cognitive liée à la systématisme, notre étude a démontré que les raisonnements analogiques opérés par les élèves comportent une valeur esthétique, tel que l'avaient observé Jakobson et Wickman (2007). L'utilisation de référents analogiques précise la pensée des élèves et affermit leur compréhension conceptuelle. De plus, la portée métaphorique des propos des élèves illustre et modélise leurs idées. L'ensemble de ces éléments liés au raisonnement analogique contribue donc à mettre en œuvre le processus de changement conceptuel.

Le raisonnement analogique caractérise le processus de continuité du changement conceptuel. Le potentiel de systématisme entre des éléments connus et des éléments à connaître assure l'évolution des conceptions initiales. À l'instar de Nersessian (1998, 2008a), nous proposons de développer chez les élèves l'utilisation créative des analogies dans le changement conceptuel. Au lieu d'utiliser des analogies préparées à l'avance, les élèves pourraient construire et créer des analogues nouveaux formés en interaction avec les contraintes du domaine d'investigation du problème à l'étude.

Souvent dénigré par les chercheurs issus de la vision froide de l'étude du changement conceptuel, le raisonnement analogique ne place pas l'élève dans une simple zone de confort « douillet » qui le « sécurise » (Michaud, 1970, p. 114) et lui confère un certain laxisme intellectuel. Au contraire, le raisonnement analogique fournit les matériaux d'une construction mentale créative et porteuse de sens pour l'élève. Le raisonnement analogique assure une certaine « intelligibilité », un des critères nécessaires à la mise en œuvre du changement conceptuel, selon Posner *et al.* (1982). Cette forme de raisonnement active les ressources inventives de l'élève qui apprend et elle joue un rôle important dans le changement conceptuel.

5.1.2 La deuxième question de recherche

Quels sont les liens entre les croyances épistémiques d'élèves du primaire et leur engagement dans les changements conceptuels en apprentissage des sciences?

Selon les résultats du questionnaire portant sur les croyances épistémiques et les corrélations entre les dimensions, nous pouvons conclure que l'épistémologie personnelle prend une place réelle dans l'esprit de l'élève qui apprend. Cependant, la description des liens entre les croyances personnelles et l'engagement dans les changements conceptuels s'avère un défi de grande taille du point de vue empirique. En un premier temps, nous dresserons le portrait épistémique des élèves qui ont participé à notre investigation. En deuxième lieu, les liens entre les croyances épistémiques des élèves et leur engagement conceptuel seront discutés en fonction des résultats de notre étude.

Compte tenu de la moyenne plus élevée obtenue pour la dimension de la justification, la vision de la science prédominante chez les jeunes élèves qui ont participé à notre étude pourrait être qualifiée d'empiriste, tel que défini par Royce (1978). De plus, la

présence de raisonnements analogiques et de langage métaphorique dans le discours des élèves incite à associer leur vision au métaphorisme (Royce, 1978) puisque ceux-ci ont recours à la symbolisation pour apprendre, et manifestent une expressivité des idées et des mots. Cependant, l'attribution d'un tel vocable s'inscrit dans une certaine relativité. La moyenne la plus élevée obtenue par la dimension de la justification se chiffre près des moyennes obtenues pour les autres dimensions; et la présence d'une forme de raisonnement, sans être fortuite, ne rend pas nécessairement plus importante une vision en particulier. Les façons d'envisager le savoir sont imbriquées et ne fonctionnent pas indépendamment. Il faut donc nuancer la catégorisation des visions épistémologiques.

Par ailleurs, l'observation et la mesure des croyances épistémiques ont été principalement effectuées à l'aide du questionnaire de Conley *et al.* (2004) ainsi que d'entretiens individuels. Les données recueillies ont fait la lumière sur la vision des élèves au sujet de la nature du savoir et de sa construction. Les résultats du questionnaire, similaires à ceux de Conley, ont révélé une certaine sophistication des croyances chez les élèves. De plus, les propos des élèves lors des entretiens ont indiqué clairement qu'ils sont critiques face à l'hégémonie de la science. Somme toute, les jeunes élèves se situent loin d'une perspective naïve traduite par l'autoritarisme, le dualisme et l'absolutisme. Ils admettent la nature évolutive du savoir, ils accordent une importance à l'expérimentation, ils ont le sens de la preuve. Dans le cadre de notre étude, ils ont fait preuve de scepticisme, d'évaluativisme voire même de multiplisme, et cela, malgré leur égocentrisme enfantin.

Les élèves qui ont participé à notre étude ont manifesté des éléments qui caractérisent les niveaux épistémiques suggérés par Boyes et Chandler (1992) : le réalisme naïf (basé sur la simple observation), le réalisme défensif qui serait selon eux lié au stade concret; le scepticisme-dogmatisme (pendant le stade piagétien des

opérations formelles) et le rationalisme-post scepticisme (chez les adolescents). Selon cette classification, les élèves de notre étude (dont la moyenne d'âge est de 10 ans) feraient partie de l'axe du scepticisme-dogmatisme. Or, dans notre étude, les jeunes élèves ont manifesté des caractéristiques de chacun des stades. Dans notre cas, la progression épistémique ne peut donc être catégorisée de façon drastique en fonction de l'âge des élèves. Notre étude confirme que le développement épistémologique se fait en spirale et dépend des interactions avec l'environnement, tel que l'ont décrit d'autres chercheurs (Chandler *et al.*, 2002; Yang et Tsai, 2010).

Le questionnaire de Conley *et al.* (2004) est un instrument qui avait été conçu afin de vérifier l'impact d'une méthode d'enseignement sur l'évolution de la vision de la science chez les élèves. Il mesure les croyances épistémiques en un temps précis à l'aide d'items regroupés selon quatre dimensions : la source, la certitude, le développement et la justification du savoir. Contrairement aux études corrélationnelles et longitudinales réalisées dans le domaine de l'épistémologie personnelle au primaire et qui ont utilisé ce questionnaire, notre étude s'inscrivait dans une perspective interprétative. Elle visait à comprendre le rôle des croyances épistémiques des élèves en action dans la classe, dans un contexte de cognition distribuée. Le questionnaire a très bien recueilli les croyances épistémiques des élèves mais cet instrument n'a pas précisé les liens entre les croyances épistémiques et l'engagement dans le changement conceptuel. L'utilisation de données vidéo a complété la captation de la manifestation de l'engagement dans le changement conceptuel à l'aide d'images prises sur le vif des élèves en action dans la classe. Cette technique n'a cependant pas permis d'illustrer explicitement les liens entre l'engagement dans le changement conceptuel et l'épistémologie personnelle.

Malgré les limites des instruments utilisés, nous pouvons conclure que les croyances épistémiques, bien ancrées dans l'esprit des élèves, s'imbriquent aux conceptions

initiales et forment un modèle mental cohérent et souple qui détermine l'engagement dans le changement conceptuel.

Nous entérinons les réflexions de Dole et Sinatra (1998) qui proposent que plus les croyances individuelles sont congruentes avec les représentations, plus les élèves s'engagent dans des stratégies qui induisent le changement conceptuel. L'engagement dépend donc de la combinaison des caractéristiques de l'apprenant et du message. L'inconsistance des croyances enclenche la révision de celles-ci et garantit l'acquisition de croyances mieux fondées et en accord avec les représentations.

En somme, les croyances jouent un rôle important dans la pensée humaine et elles déterminent les actions. Il est cependant difficile de mesurer de façon empirique et avec précision leurs liens avec l'engagement dans le changement conceptuel. À cet égard, une réflexion théorique, basée sur les connaissances actuelles au sujet du changement conceptuel intentionnel, contribuerait à élucider les liens subtils entre les croyances épistémiques et l'engagement dans le processus de changement conceptuel.

5.1.3 La troisième question de recherche

Quels sont les liens entre les croyances épistémiques d'élèves du primaire et leur utilisation de la stratégie du raisonnement analogique lors de l'exploration du phénomène de la flottaison?

La corrélation anticipée par la troisième question de la recherche n'a pas été confirmée de façon significative. La complexité de l'épistémologie personnelle, la concomitance des dimensions épistémiques et l'enchevêtrement des raisonnements pourraient expliquer l'ambiguïté des résultats.

Du point de vue statistique, la dimension de la certitude présente des corrélations significatives avec les quatre formes de raisonnements ciblés dans cette étude, dont le raisonnement analogique. Cependant, celui-ci ne se démarque pas assez pour établir une corrélation significative entre l'épistémologie personnelle et ce type de raisonnement.

La certitude du savoir a interpellé les élèves puisqu'ils ont exprimé clairement leur critique face à l'autorité de la science. Selon eux, les connaissances scientifiques sont continuellement soumises à la révision, elles ne sont pas immuables. La prédominance corrélationnelle de cette dimension pourrait s'expliquer par le fait qu'elle englobe les autres dimensions ou que ses ramifications les touchent. La subtilité des liens entre les dimensions rend difficile l'analyse de la relation de chacune d'elles avec l'utilisation spécifique de chaque type de raisonnement.

Le raisonnement expérimental aurait pu être corrélé avec la dimension de la justification. Or, malgré les résultats peu concluants en rapport à cette corrélation attendue, nous avons obtenu une occurrence élevée des raisonnements expérimentaux et une moyenne élevée de la dimension de la justification. L'analyse corrélationnelle des croyances épistémiques des élèves nécessiterait donc un approfondissement afin de clarifier les liens complexes qui les unissent.

Par ailleurs, les analyses qualitatives apportent des indications concernant l'usage du raisonnement analogique chez les élèves en classe de sciences. Il est donc possible de proposer une description de sa relation avec le profil épistémique des élèves. Ainsi, l'utilisation du raisonnement analogique peut être associée au métaphorisme tel que le décrit Joyce (1978). La symbolisation et l'expressivité que les élèves arborent lors de leurs raisonnements nous font déduire qu'ils perçoivent la science non pas de façon rationaliste, mais plutôt en jumelant l'objectivité et la subjectivité de la science.

Cette vision indique que les deux pôles de la pensée scientifique forment la trame du changement conceptuel. Lors du changement conceptuel, l'intuition et la rigueur se côtoient. Tant du point de vue épistémologique que du point de vue pragmatique, les élèves ont compris l'incertitude de la science et la part de l'inventivité dans le processus de découverte.

En bref, même si les croyances épistémiques des élèves influencent leur choix de stratégies cognitives (Schommer, 1990), notre étude n'a pas réussi à préciser les liens entre ces croyances et l'utilisation des raisonnements analogiques. Cependant, notre étude a démontré que les raisonnements analogiques caractérisent l'épistémologie personnelle et définissent la dualité objectivité - subjectivité inhérente à la science.

Afin d'approfondir les relations entre les croyances épistémiques et les stratégies cognitives, une étude croisée entre les éléments conceptuels et les éléments épistémologiques pourrait être menée. Certaines études, dont celle de Yang et Tsai (2010) effectuée auprès d'élèves de 6^e année du primaire, ont fait la lumière sur la relation entre les raisonnements scientifiques des élèves et leur épistémologie personnelle dans un cadre de contextes informels de la vie de tous les jours. Le fait de questionner les élèves au sujet de sujets controversés ou lors de la résolution de problèmes *flous*, a aussi été utilisée au secondaire et au préuniversitaire par plusieurs auteurs (King et Kitchener, 1994; Kuhn, 2001; Rowell et Dawson, 1983; Toussaint et Lavergne, 2005). Cependant, avec des élèves plus jeunes, et dans un contexte d'exploration du phénomène de la flottaison, cette méthode aurait été difficile à mettre en place.

L'obtention de résultats mitigés issus d'une stricte analyse corrélationnelle renforce l'idée de concilier des données qualitatives et quantitatives dans un cadre d'analyse des relations entre l'épistémologie personnelle et le choix des stratégies cognitives.

Une analyse du discours des élèves jumelée à une analyse statistique apporterait des informations plus complètes à ce sujet. Afin d'avoir l'heure juste au sujet des liens entre l'épistémologie personnelle et l'utilisation du raisonnement analogique, les entretiens auraient dû aller au-delà des questions déjà posées dans le questionnaire sur les croyances épistémiques.

Les prochaines sections articulent les conclusions qui découlent des résultats de notre étude en fonction des thématiques conceptuelles suivantes : l'épistémologie personnelle, le changement conceptuel, le raisonnement et le phénomène de la flottaison.

5.2 L'épistémologie personnelle

Notre étude a apporté un éclairage sur les croyances épistémiques des élèves, leurs pensées subjectives bien ancrées dans leur esprit. Ce que les élèves pensent de la nature de la science et de sa construction découle de leur existence à une époque précise. Leur épistémologie personnelle, loin d'être naïve, comporte des éléments multiplistes et évaluativistes. Dans le cadre de notre étude, les élèves possédaient une vision assez évoluée de la science. Ils avaient le sens de la preuve et remettaient en question l'hégémonie de la science et de leurs détenteurs.

Les élèves se détachent d'une vision uniquement rationaliste de la science. Ils conçoivent la science de façon critique en combinant le sens de la preuve (empirisme) et l'imagination (métaphorisme). Ils sortent du cadre explicatif et s'autorisent une variété de points de vue afin de trouver une solution parfois inusitée.

Le rôle de l'épistémologie personnelle dans le changement conceptuel mérite une attention particulière afin de dissiper le flou qui entoure le fonctionnement complexe de cette influence. Les croyances épistémiques recèlent un potentiel cognitif et

s'insèrent dans le mécanisme de changement conceptuel. Les croyances épistémiques, inhérentes à l'esprit des jeunes, font partie intégrante de leur cognition. Loin d'occulter la perception du monde, elles façonnent la structure mentale qui appréhende le monde et elles guident la pensée des élèves. Les croyances épistémiques participent donc au processus de changement conceptuel, et elles nichent dans le même habitacle intellectuel que les idées initiales des élèves.

La révision des représentations dépend de la convergence des croyances et des conceptions personnelles. L'évolution du savoir idiosyncratique subit l'influence de multiples facteurs liés à l'intentionnalité, dont les croyances épistémiques. La conciliation des représentations subjectives que sont les croyances épistémiques et des représentations conceptuelles conduit vers le changement conceptuel.

5.3 Le changement conceptuel

Le socle du changement conceptuel est constitué des idées initiales des élèves. Ces idées initiales, plus ou moins organisées et cohérentes, se restructurent et s'enrichissent au fur et à mesure que le changement conceptuel s'effectue. Lors de l'exploration de la flottaison, le savoir naïf des élèves s'est raffiné graduellement grâce au contexte d'investigation et aux discussions avec les pairs. Les composantes affectives et contextuelles étaient impliquées. Le changement conceptuel s'est effectué dans un contexte de cognition distribuée. Il a mis en jeu de nombreux éléments didactiques et épistémologiques.

Dès ses débuts, l'étude du changement conceptuel considérait certains facteurs affectifs et épistémologiques. Ainsi, le modèle de Posner *et al.* (1982), malgré sa connotation de modèle froid et rationnel, propose des facteurs conditionnels au changement conceptuel tels que l'insatisfaction et l'évaluation subjective du nouveau

savoir par l'apprenant. Dans le cadre de notre étude, l'apport affectif et épistémologique dans le changement conceptuel a été pris en compte. Nous avons considéré la dualité du processus itératif du changement conceptuel qui combine la rigueur et l'inventivité et qui implique des facteurs d'intentionnalité. Les états intentionnels tels que le questionnement, le ravissement, l'imagination ainsi que la croyance, s'associent aux conceptions initiales et génèrent ensemble des actions mentales telles que la mise en œuvre de raisonnements multiples. Ainsi, les états mentaux conditionnent la disposition à s'engager dans le changement conceptuel.

Notre étude comporte des affinités avec le point de vue de diSessa (2008) sur le changement conceptuel. En effet, la structure du savoir intuitif, définie par des bribes ou des fragments de savoir contextualisés (*p-prims*) pourraient correspondre aux évidences tirées d'expériences de la vie quotidienne des élèves au sujet du phénomène de la flottaison. De plus, dans le cadre de notre étude, les élèves ont construit de nombreuses relations causales intuitives entre leurs idées et leurs perceptions. À l'instar de diSessa (2008), nous appuyons l'idée que la construction d'une systématité assure la restructuration et la réorganisation des bribes de connaissances. Par ailleurs, diSessa (2008) prône l'utilisation de modèles visuels tels qu'un micro-monde informatisé afin de mettre en contact des éléments semblables aux intuitions et de nouveaux éléments. Le changement conceptuel est donc le produit de la conjonction entre le raisonnement, la modélisation et la visualisation, tel que Nersessian (2008b) le suggère.

Ce qui nous distingue du modèle de Vosniadou (2008) est l'importance qu'elle accorde à l'engagement conscient, conditionnel au changement conceptuel ainsi que l'idée d'*incommensurabilité* (Kuhn, 1962/1983) qui forme un fossé entre la conception et le concept. Ce dernier point justifie la pertinence didactique, pour Vosniadou (2008) d'utiliser des stratégies de confrontations et de démonstrations afin

de créer un conflit cognitif chez les élèves. Dans le cadre de notre étude, nous avons au contraire privilégié l'émergence de raisonnements naturels et l'évolution conceptuelle à partir des savoirs intuitifs des élèves.

Sans mettre de côté les facteurs épistémologiques qui caractérisent le changement conceptuel, celui-ci demeure un processus cognitif dont les rouages dépendent de diverses opérations mentales. Dans un contexte de classe de sciences, les changements conceptuels s'effectuent à l'aide de stratégies cognitives telles que le raisonnement.

5.4 Le raisonnement

En apprentissage des sciences au primaire, les formes variées de raisonnement se chevauchent et se conjuguent. Les raisonnements causal, analogique, inductif, abductif et déductif en sont des exemples. Le raisonnement constitue le moteur du changement conceptuel. Il englobe une variété de formes qui agissent de façon synergique.

Le raisonnement causal prend une place importante en apprentissage des sciences. À l'aide d'une suite itérative de causes à effets, il érige l'explication et dissipe l'incompréhension.

Par ailleurs, la boucle abduction-induction-déduction proposée par Peirce (2002) s'effectue continuellement. En classe de sciences, les indices recueillis par les sens jouent un grand rôle dans le processus de changement conceptuel. L'abduction forme des hypothèses susceptibles d'être vérifiées. C'est un raisonnement « imagitatif » qui fait appel aux connaissances.

Le raisonnement analogique recèle un potentiel cognitif indéniable. L'aisance avec laquelle les élèves l'utilisent pour exprimer leur point de vue représente un atout certain qui renforce la pertinence de cette stratégie cognitive.

La justesse de l'aboutissement du raisonnement n'était pas l'enjeu de notre étude. Celui-ci consistait à décrire les inférences effectuées par les élèves et leur incidence dans les changements conceptuels. Le critère normatif ne guidait pas l'analyse des données de façon prioritaire. C'est la richesse des idées qui nous intéressait. Or, nous pouvons conclure que la diversité et la cohérence des raisonnements des élèves conduisent assurément à l'évolution de leurs conceptions initiales.

Les raisonnements interviennent dans le changement conceptuel et façonnent les représentations. En apprentissage des sciences, l'observation alimente la réflexion. La perception par les sens enclenche l'élaboration d'inférences et de raisonnements multiples. De plus, l'imagination enrichit les raisonnements. La créativité caractérise l'activité cognitive de l'élève et dynamise le changement conceptuel. Les ressources internes proviennent d'une fécondation entre le rationnel et l'imaginaire. Le mouvement dialectique entre ces deux axes psychiques assure l'équilibre de l'individu qui apprend.

En didactique des sciences, différents contextes activent les raisonnements. L'exploration de phénomènes scientifiques tels que la flottaison en est un exemple.

5.5 La flottaison

La flottaison, ce « morceau d'anthologie pédagogique », est un phénomène complexe que bien des adultes ne pourraient expliquer. Les programmes d'étude et la transposition didactique de ces programmes en salle de classe de sciences semblent omettre la part essentielle de l'investigation et de l'argumentation dans l'étude de

cette notion multiconceptuelle. L'apprentissage insipide d'une formule mathématique ne produit pas une compréhension profonde de la flottaison parce qu'il ne soulève aucun questionnement et ne stimule pas la curiosité et l'engagement cognitif essentiel au changement conceptuel.

Notre étude a observé, comme l'avaient fait plusieurs chercheurs (Biddulph et Osborne, 1984; Hardy *et al.*, 2006; Joung, 2009; Thouin, 1985), que les élèves associent la flottaison à la respiration, à la surface de l'objet et à la présence de l'air ou le poids de l'objet. Sauf chez certains plus avisés, les élèves n'ont pas fait le lien entre la densité d'un objet et la densité de l'eau. Ils ont formé des modèles synthétiques (Vosniadou 2007a) et amalgamé des conceptions initiales et des nouveaux savoirs. Cependant, le critère normatif ne constituant pas l'enjeu de notre étude, c'est la trame argumentative de la réflexion des élèves qui nous intéressait. Les explications des élèves, soutenues par leurs observations et leurs raisonnements multiples, se détachent d'une vision cartésienne et forment le nœud d'une fascinante quête intellectuelle. Comprendre la flottaison exige un va-et-vient entre l'expérience personnelle et les concepts de la physique. Les élèves sont des « raisonneurs compétents » et ils puisent dans leur « trésor » cognitif, qui, petit à petit, se raffine au gré des apprentissages scolaires et quotidiens.

L'étude des variables impliquées dans la flottaison, effectuée dans un contexte réel d'investigation, a sans doute amorcé un parcours intellectuel que les plus intéressés poursuivront. Le changement conceptuel demande du temps et de l'investissement, quelque soit l'objet d'étude. Les expérimentations sur la flottaison vécues par les élèves ont généré de nouveaux questionnements. Leurs conceptions robustes, stables et résistantes à l'instruction ont été ébranlées; cependant, un changement conceptuel profond prend du temps (Vosniadou, 2007a). L'évolution des conceptions se fera tout

au long de leur parcours scolaire et personnel. La compréhension d'un phénomène s'apparente au développement de la science; tous deux sont en constante évolutio

CONCLUSION

Au terme de notre entreprise scientifique, un bilan doit être fait. Dans cette dernière section, se profileront les défis et les enjeux liés aux domaines de la didactique des sciences qui nous intéressent. En premier lieu, le rappel sommaire de chacune des étapes sera effectué. Par la suite, seront présentées des limites de l'étude et des perspectives de recherche qui découlent de notre étude. Une discussion au sujet de la contribution potentielle pour l'enseignement-apprentissage des sciences au Québec fermera la boucle formée par les éléments intimement liés que sont la problématique, le cadre théorique, la méthodologie et l'analyse des résultats.

Cette étude, sans être fondée entièrement sur un vécu d'enseignante, est née d'une solide pratique en enseignement au primaire. Le fait de côtoyer des jeunes élèves et de les accompagner intellectuellement a nourri une réflexion axée sur la prodigieuse et complexe aptitude des enfants à apprendre. Tenter de comprendre la cognition enfantine constitue le leitmotiv de notre travail. Ce projet poursuit une quête amorcée lors d'une étude sur le rôle de l'imaginaire dans la culture préscientifique des élèves du primaire en apprentissage des sciences.

Nous avons d'abord campé la problématique de notre étude dans le contexte sociétal actuel afin de mettre en exergue l'importance de la démocratisation de la culture scientifique. La situation de l'enseignement des sciences qui sévit au Québec et dans d'autres pays comporte des défis liés à la diffusion de la culture scientifique (Bégin, 2007; Conseil des sciences et de la technologie, 2002; MELS, 2006). Or, nous avons vu que cette culture n'est pas constituée uniquement de connaissances factuelles et de cumul de vocabulaire scientifique. La culture scientifique vise à former l'esprit et à développer des compétences scientifiques inhérentes à l'investigation : le questionnement, le raisonnement, l'argumentation. Elle fait appel au sens de la preuve, à l'ouverture aux autres, au doute. Le problème soulevé relève donc de

l'épistémologie et de ses composantes mises en jeu lors du processus de changement conceptuel en apprentissage des sciences, les composantes étant des facteurs cognitifs, épistémologiques et contextuels. La présomption initiale exprimée dans cette étude attribuait donc une valeur notable à l'incidence des facteurs d'intentionnalité sur le changement conceptuel, ce qui a teinté la finalité de notre projet.

L'épistémologie personnelle est un domaine d'étude en pleine effervescence. Toutefois, une carence scientifique se remarque au niveau primaire, ce qui éveille l'intérêt actuel de la communauté scientifique. Ainsi, seulement un petit nombre d'études est mené aux quatre coins du monde auprès de jeunes élèves du primaire, dont ceux du Québec, dans notre cas. Notre thèse s'inscrit donc dans la foulée des études sur le changement conceptuel intentionnel (tendance chaude) menées au primaire et qui prennent en compte des facteurs d'intentionnalité.

La charpente théorique de notre étude était constituée de concepts imbriqués au sein d'une matrice didactique dynamique. Notre étude en didactique des sciences s'est déroulée principalement en salle de classe et conséquemment, s'est construite sous l'égide de la cognition distribuée. Après l'examen de différents modèles proposés dans la tendance chaude du changement conceptuel, nous avons mis de côté les facteurs motivationnels privilégiés par les précurseurs de l'étude du changement conceptuel intentionnel (Pintrich *et al.* 1993; Sinatra et Pintrich, 2003; Mason, 2007). Cette décision de se dissocier du modèle psychopédagogique se justifie, entre autres, par les difficultés de mesurer les facteurs métacognitifs, particulièrement au primaire. La théorisation de notre étude a exigé de circonscrire le vaste champ d'étude du changement conceptuel, de bien articuler la théorie de l'intentionnalité en fonction des fondements théoriques proposés par Searle (1985), d'élucider la notion de croyance épistémique et de définir le concept de raisonnement ainsi que celui de raisonnement analogique.

Les trois pôles majeurs du cadre conceptuel : l'intentionnalité, le changement conceptuel et le raisonnement ont guidé le choix multiméthodologique de notre étude. En s'inscrivant dans un paradigme pragmatique avec certains éléments épistémologiques propres à l'interprétativisme, nous devons rendre compte de l'enchevêtrement et de la dynamique des éléments d'une situation didactique, au cœur même de cette situation. L'observation multiforme a été menée principalement en salle de classe et une variété d'instruments a permis de capter les raisonnements ainsi que la vision des élèves de la science et de la construction de la science. Une investigation rigoureuse dans un cadre dynamique de cognition distribuée a permis de faire une collecte de données variées et authentiques. Empreints de leur vision épistémologique, les élèves ont exploré le phénomène de la flottaison. Ils ont questionné, ils ont discuté, exprimé leurs émotions, ils ont testé, expérimenté, et consigné leurs explications. Par l'entremise de leurs coéquipiers, les élèves, dont l'esprit est modelé par leurs croyances, ont fait progresser leurs conceptions en rapport à la flottaison.

L'analyse des résultats a répondu en grande partie aux questions initiales de la recherche, lesquelles étaient soudées à la structure triangulaire et bidirectionnelle de la problématique. Nous espérons ainsi décrire et expliquer l'incidence du raisonnement analogique et des croyances épistémiques sur le changement conceptuel ainsi que la corrélation potentielle entre les croyances épistémiques et l'utilisation du raisonnement analogique dans un contexte d'investigation et d'exploration de la flottaison en salle de classe.

Notre étude a mis en valeur le rôle de l'épistémologie personnelle des élèves dans le changement conceptuel. Elle a démontré que les élèves élaborent leurs explications à partir de leurs croyances et de leurs conceptions personnelles, qu'ils utilisent les matériaux en place dans l'école et ceux qu'ils ont acquis dans leur milieu familial,

qu'ils puisent dans leur culture personnelle et dans les modèles mentaux élaborés au fil de leur expérience personnelle. Nous avons compris que les croyances traduisent l'appartenance à une culture donnée et qu'elles peuvent interférer dans le changement conceptuel.

Notre étude a aussi fait la lumière sur les formes de raisonnements utilisés par les élèves ainsi que sur la valeur cognitive des raisonnements analogiques opérés lors de l'exploration du phénomène de la flottaison. Cependant, le foisonnement cognitif manifesté chez les jeunes élèves incite à admettre la complexité du processus de changement conceptuel. Lors de l'exploration d'un phénomène scientifique, une multitude de facteurs interagissent. En réalité, il n'y a pas de phénomènes simples. Bachelard (1934/1968) exprime cette idée de complexité : « le phénomène est un tissu de relations [...], il n'y a pas d'idée simple, parce qu'une idée doit être insérée, pour être comprise, dans un système complexe de pensées et d'expériences » (p. 113). Ainsi, l'étude de la cognition des élèves dans un contexte de classe entière constitue un domaine où la complexité prédomine. De plus, le phénomène de la flottaison implique plusieurs concepts, ce qui complexifie son étude et sa compréhension. Les prochaines sections traitent des limites et des retombées de l'étude.

Des limites de l'étude

L'étude empirique du changement conceptuel comporte des défis méthodologiques. Le fait de capter les raisonnements à des temps précis ne garantit pas une étude du processus en profondeur. Les activités cognitives se manifestent par le langage qui constitue la pointe de l'iceberg. Notre étude a permis de saisir la réaction immédiate des élèves qui est une réaction de curiosité et d'étonnement ainsi que la manière dont ils cherchent spontanément à interpréter un phénomène. Nous avons vu leur pensée à l'œuvre, leurs raisonnements à l'état explicite. Le fonctionnement cognitif relève de

nombreux facteurs liés aux conceptions initiales, aux croyances épistémiques et à la cognition distribuée. Le changement conceptuel est un processus complexe qui prend du temps et l'étude approfondie de son mécanisme recèle encore une grande part de réflexions théoriques.

Contrairement à Chi (2006, 2008), Vosniadou (2003, 2008) et diSessa (2004, 2008) qui ont fait une analyse fine des représentations et de leur évolution, notre étude macroscopique porte sur l'ensemble des composantes du processus de changement conceptuel. Elle se situe au cœur même de ce processus complexe qui est teinté par les croyances épistémiques des élèves et induit par leurs raisonnements lors des discussions en classe. Notre étude visait à comprendre l'apport du raisonnement analogique et de l'épistémologie personnelle dans ce processus cognitif complexe.

Par ailleurs, l'analyse corrélationnelle n'a pas précisé les liens entre les croyances épistémiques et le choix des stratégies cognitives. Cette limite a été discutée dans le chapitre précédent. Afin d'obtenir des résultats plus précis, nous avons suggéré d'utiliser une analyse du discours en plus d'une analyse corrélationnelle. Les entretiens individuels auraient dû dépasser l'explicitation des questions déjà posées dans le questionnaire sur les croyances épistémiques.

Des limites liées à l'échantillonnage réduisent la généralisation des résultats et circonscrivent la portée de l'étude. Les 142 élèves provenaient d'un milieu rural du centre du Québec. De plus, seul un nombre limité de 12 verbatim issus d'entretiens individuels a fait l'objet d'une analyse de contenu. Les résultats de cette étude sont néanmoins transférables dans d'autres écoles de niveaux primaires puisque les éléments épistémologiques et méthodologiques ainsi que les caractéristiques d'échantillonnage ont été clairement explicités et justifiés dans la thèse. Par ailleurs, l'exploration de la flottaison constitue un contexte spécifique qui a généré des formes de raisonnements liés à ce contexte. D'autres thématiques exploratoires telles que l'univers vivant pourraient fournir d'autres résultats.

Les retombées de notre étude se situent dans différents contextes liés à la didactique de la science et de la technologie. De nouvelles connaissances dans le domaine d'étude de la « tendance chaude » du changement conceptuel, des recommandations pour la formation des maîtres et des retombées dans la salle de classe résultent de l'étude.

Les retombées scientifiques

L'apport scientifique de notre étude se définit par les nouvelles connaissances apportées au sujet du changement conceptuel intentionnel, analysé sous l'angle de l'intentionnalité et des croyances épistémiques. Plus précisément, l'étude a dressé un profil épistémique d'élèves du primaire. Elle a validé le caractère empiriste de l'épistémologie personnelle des élèves. De plus, elle a permis d'expérimenter un instrument de mesure des croyances épistémiques adapté aux élèves du primaire.

Par ailleurs, l'étude a fait la lumière sur les raisonnements scientifiques des élèves et sur le rôle du raisonnement analogique dans le changement conceptuel lors de l'exploration du phénomène de la flottaison.

L'étude a aussi fait la démonstration qu'une approche multiméthodologique est appropriée pour faire l'étude du changement conceptuel intentionnel. Le paradigme pragmatique (Tashakkori et Teddlie, 1998, 2010) assure une complémentarité des données et permet de fournir des réponses aux questions qui mettent en relation l'intentionnalité, le raisonnement et le changement conceptuel.

Pour la formation des maîtres

Des recommandations pour la formation des maîtres découlent de notre étude. Elle se décline en trois points : 1- intégrer l'épistémologie personnelle au sein des

compétences professionnelles visées dans le cadre du cours de didactique de science et technologie; 2- développer une compréhension de l'épistémologie personnelle et s'assurer de sa prise en compte par le futur maître, et 3- mettre en œuvre un modèle afin de créer un climat épistémique favorable dans une classe (p. ex., le modèle de Haerle et Bendixen, 2008, décrit plus loin). Ces recommandations visent le développement de la pensée critique, tant chez les futurs maîtres que chez les jeunes élèves.

Dans la salle de classe

Les retombées dans la salle de classe concernent l'éclairage généré par notre étude sur la cognition enfantine et sur les stratégies cognitives que les élèves utilisent lors de l'étude du phénomène de la flottaison. Malgré le fait que la plupart des élèves justifient leurs explications en fonction d'une seule variable, leurs raisonnements multiples démontrent leur capacité argumentative et leur sens de la preuve.

L'étude a aussi confirmé qu'il faut offrir aux élèves les bases d'une formation épistémologique, c'est-à-dire les amener à réfléchir sur le rapport qu'ils entretiennent avec le savoir. Il ne s'agit pas de faire un cours sur l'épistémologie mais de mettre en place un contexte d'investigation qui incite les élèves à parler de la science et de la technologie, à argumenter, à évaluer la validité d'un fait, à faire la preuve, à développer leur sens critique et aller au-delà des apparences.

Notre étude a validé l'importance de mettre en place un contexte d'investigation en classe de science, particulièrement lorsque les concepts à l'étude sont complexes. L'étude de la flottaison doit se faire dans un contexte d'exploration et non en

mémorisant une formule⁶³. Solliciter l'intelligence et l'imagination des enfants ne peut que contribuer à la mise en œuvre du changement conceptuel.

Au bout de l'aventure scientifique, se retrouve une jonction qui dessine d'autres avenues. Des questions surgissent, des enjeux se forment, d'autres défis attirent la chercheuse. La prochaine section présente les perspectives de recherche qui découlent de notre étude.

Les perspectives de recherche

Les perspectives de recherche qui découlent de notre étude en didactique des sciences au primaire touchent les trois axes définis par Astolfi *et al.* (1997/2008) : l'axe épistémologique, l'axe psychologique et l'axe praxéologique.

L'axe épistémologique comporte deux domaines de recherche reliés entre eux : le domaine d'étude du processus de changement conceptuel en apprentissage des sciences et celui de l'épistémologie personnelle. Le cadre d'analyse de l'évolution des conceptions des élèves consiste d'une part, à participer à la réflexion théorique propre à ce domaine d'étude, et d'autre part, à instaurer des situations d'observation d'élèves en contexte d'exploration et de résolution de problème scientifique et technologique. Le changement conceptuel intentionnel, c'est-à-dire qui prend en compte les croyances épistémiques et l'affect des élèves, constitue un domaine d'étude inédit et très pertinent en didactique des sciences. Le développement d'instruments de mesure dont les items assureraient une interprétation juste de l'épistémologie personnelle des élèves du primaire et de ses liens avec le choix de stratégies cognitives serait un projet intéressant, compte tenu du rôle crucial de

⁶³ Dans *Les leçons de Marie Curie*, (ouvrage coordonné par Leclercq, 2003) la mesure de la densité de solides et de liquides, puis de la densité des objets de formes quelconques, conduit graduellement à l'étude du principe d'Archimède.

l'instrumentation dans ce champ de recherche peu développé au primaire. Les perspectives de recherche sur le changement conceptuel s'inscrivent d'ores et déjà dans une tendance chaude par la prise en compte de facteurs intentionnels et contextuels.

Une étude empirique sur les émotions cognitives pourrait éventuellement répondre à la question qui traite de l'engagement dans le changement conceptuel puisque ce type d'émotions caractérise les enfants et que la découverte génère un état mental très motivateur. Une instrumentation audiovisuelle et des outils d'analyse adaptés permettraient la captation et l'interprétation d'émotions cognitives telles que l'étonnement et la joie de trouver une réponse.

En rapport à l'axe psychologique, les perspectives de recherche portent sur le raisonnement scientifique. Le rôle cognitif du raisonnement chez les enfants justifie la pertinence de ce domaine d'étude. Décrire comment les élèves apprennent les sciences et comment ils construisent leur compréhension du monde qui les entoure repose sur le rôle majeur que joue la stratégie du raisonnement scientifique, sous ses multiples formes, dans la restructuration des représentations initiales.

Par ailleurs, notre étude du raisonnement peut se transposer dans d'autres contextes d'investigation scientifique tels par exemple, l'exploration du monde vivant ou de la matière. L'étude empirique du raisonnement basé sur la modélisation (*model-based reasoning*) (Nersessian, 2008a) qui met en jeu la modélisation visuelle créé par un environnement informatisé constitue aussi un axe de recherche potentiel.

L'étude du raisonnement dans un contexte de classe entière offre de nombreux défis méthodologiques. La cognition distribuée tisse une myriade d'interactions entre les élèves, l'enseignant et le matériel didactique. Capter la complexité des stratégies

cognitives qui induisent le changement conceptuel constitue un enjeu actuel important.

L'axe praxéologique fait appel aux retombées dans la salle de classe et vise la mise en place de conditions favorables à l'engagement cognitif des élèves. La prise en compte et le développement de l'épistémologie personnelle dans l'enseignement des sciences devraient continuer à intéresser les chercheurs et les praticiens afin de former des penseurs critiques et de meilleurs apprenants. Il importe qu'un enseignant soit attentif à la conception des sciences qu'il dégage de son enseignement parce qu'elle influence celle des élèves (diSessa, 2008). Le climat épistémique de la classe dépend de plusieurs composantes épistémiques en interaction. Le modèle éducationnel de l'épistémologie personnelle (*Educational Model of personal epistemology*) présenté par Haerle et Bendixen (2008) constitue un exemple d'intégration de quatre composantes épistémiques dans le cadre pédagogique : l'épistémologie personnelle des apprenants, l'épistémologie personnelle des enseignants, les représentations épistémiques du savoir et l'enseignement épistémique⁶⁴. À l'instar des concepteurs de ce modèle, nous appuyons l'idée de poursuivre des études sur l'épistémologie au primaire afin d'instaurer une pensée évaluativiste dès le jeune âge.

Le développement de stratégies d'intégration de l'épistémologie personnelle à l'enseignement-apprentissage des sciences, à partir du curriculum jusqu'aux activités vécues dans la salle de classe, représente donc une avenue de recherche dans l'axe praxéologique. En didactique des sciences, le rapport au savoir joue un rôle crucial (Astolfi et Develay, 1989/1998). La mise en œuvre d'une pédagogie capable de canaliser l'énergie imaginante des élèves, d'utiliser le potentiel cognitif du raisonnement analogique et de prendre en compte les croyances épistémiques des

⁶⁴ Traduction libre de « learners' personal epistemology, teachers' personal epistemology, epistemic knowledge representations and epistemic instruction ».

élèves favoriserait le développement de compétences scientifiques et la formation de l'esprit scientifique.

Les implications pédagogiques de notre thèse découlent de l'intime relation entre l'enseignement et l'apprentissage. Mieux comprendre la cognition enfantine en salle de classe ne peut que conduire à mieux enseigner les sciences. L'enseignant est un guide, il doit être à l'écoute des raisonnements des élèves afin de les accompagner dans leur cheminement. Faire exprimer les conceptions préalables, permettre un foisonnement d'idées, accepter l'erreur et le manque de justesse, ouvrir et renforcer l'esprit des élèves, tels sont quelques actes pédagogiques respectueux de l'enfant qui apprend.

Le développement des compétences scientifiques telles que diagnostiquer un problème, émettre une hypothèse, planifier une recherche, rechercher des informations, construire un modèle et formuler des arguments cohérents, exige un enseignement rigoureux et de nombreuses pratiques en contexte expérimental. Toutefois, la démarche d'investigation ne doit pas omettre de solliciter l'énergie créatrice des élèves et d'assurer l'expression de leur inventivité afin de mobiliser l'ensemble de leurs ressources internes.

Malgré les difficultés cognitives relevées par certains auteurs et enseignants en apprentissage des sciences, dont le fait que l'élève traite une variable à la fois, confonde la théorie et l'évidence ou omette de tester une hypothèse, il demeure le maître d'œuvre des changements conceptuels qu'il effectue. L'enfant possède un besoin naturel de comprendre. Il est un penseur actif, capable d'investigation et d'argumentation. Cette étude en a fait la preuve, et des études subséquentes le feront sans doute aussi.

APPENDICE A

QUESTIONNAIRE SUR LES CROYANCES ÉPISTÉMIQUES (TRADUIT ET ADAPTÉ DE CONLEY *ET AL.*, 2004)

La source

- 1- Tout le monde doit croire ce que disent les scientifiques.
- 2- En sciences, tu dois croire ce qui est écrit dans les livres de sciences.
- 3- Tout ce que l'enseignant ou l'enseignante dit dans la classe de sciences est vrai.
- 4- Si tu lis quelque chose dans un livre de sciences, tu peux être certain que c'est vrai.
- 5- Seuls les scientifiques savent assurément ce qui est vrai en sciences.

La certitude

6. Toutes les questions en sciences ont une seule bonne réponse.
7. Le plus important en faisant des sciences est d'arriver à la bonne réponse.
8. Les scientifiques savent pas mal tout ce qu'il y a à savoir en sciences; il n'y a pas beaucoup plus à savoir.
9. Les connaissances scientifiques sont toujours vraies.
10. Une fois que les scientifiques ont un résultat après une expérience, c'est la seule réponse possible.
11. Les scientifiques sont toujours d'accord entre eux sur ce qui est vrai en sciences.

Le développement

12. Aujourd'hui, certaines idées en sciences sont différentes de ce que les scientifiques pensaient autrefois.
13. Dans les livres de sciences, les idées peuvent parfois changer.
14. Il y a certaines questions auxquelles même les scientifiques ne peuvent répondre.
15. En sciences, les idées changent parfois.
16. De nouvelles découvertes peuvent changer ce que les scientifiques pensent être vrai.
17. Parfois, les scientifiques changent d'idée à propos de ce qui est vrai en sciences.

La justification

18. Les idées à l'origine des expériences en sciences proviennent du fait d'être curieux et de se poser des questions.
19. En sciences, il peut y avoir plus d'une façon pour les scientifiques de vérifier leurs idées.
20. Une partie importante des sciences est de faire des expériences pour trouver de nouvelles idées sur le fonctionnement des choses.
21. Il est bien de refaire les expériences plus d'une fois pour confirmer tes découvertes.
22. Les bonnes idées en sciences peuvent provenir de n'importe qui, pas uniquement des scientifiques.
23. Une bonne façon de savoir si une idée est vraie est de faire une expérience.
24. Les bonnes réponses sont basées sur la preuve qui provient de plusieurs expériences différentes.
25. Les idées en sciences peuvent provenir de tes propres questionnements et de tes propres expériences.
26. Il est bien d'avoir une idée avant de débiter une expérience.

APPENDICE B

CONSIGNES POUR LA PASSATION DU QUESTIONNAIRE INDIVIDUEL SUR LES CROYANCES ÉPISTÉMIQUES DESTINÉ AUX ÉLÈVES DE 2E ET DE 3E CYCLES DU PRIMAIRE

Ce questionnaire doit être complété avant la visite de la chercheure par les élèves
dont les parents ont signé le formulaire de consentement

1. Lisez avec les élèves la page 1 et expliquer les parties **Invitation à répondre à ce questionnaire** et **Consignes pour compléter le questionnaire**
2. Assurez-vous que les élèves ont bien compris la tâche.
3. Indiquez qu'ils peuvent faire le dessin après avoir répondu aux 26 items ou avant d'y répondre mais cela ne doit pas empiéter sur le temps de réflexion demandée pour les items.
4. Le questionnaire est complété en silence et individuellement.
5. Faire penser aux élèves d'écrire une phrase ou deux sous le dessin afin de l'expliquer.
6. Le dessin est fait en noir et blanc ou en couleurs.
7. Le questionnaire a une durée approximative de 30 minutes mais vous pouvez permettre à chacun de le compléter selon leur rythme et en un temps que vous jugez raisonnable.
8. Si un mot ou un item n'est pas compris, vous pouvez expliquer individuellement le sens de façon objective et sans influencer la réponse de l'élève.
9. Conservez les questionnaires en lieu sûr et le remettre à Brigitte Laliberté lors de sa visite pour l'expérimentation.

MERCI BEAUCOUP DE VOTRE PARTICIPATION!

APPENDICE C

CANEVAS POUR L'ENTRETIEN INDIVIDUEL

D'abord j'aimerais que tu me dises ton nom et ton âge.

Tu es dans la classe de ____ de Madame _____.

L'entretien durera 20 minutes maximum et a pour but de mieux comprendre ce que tu as dit ou écrit lors des trois expérimentations quand je suis allée dans ta classe. Il va y avoir des questions sur les expériences qu'on a faites et on va faire d'autres expérimentations. Puis, je vais te poser des questions sur ce que tu penses de la science. Es-tu prêt?

Première étape : (retour sur les 3 situations)

Rappel des trois situations : 1- le compte-gouttes dans la bouteille d'eau 2- le bouchon de liège et le sou noir 3- le papier d'aluminium

Dans ton cahier tu as écrit que

- Peux-tu expliquer davantage ce que tu voulais dire par « ... » ?
- Que signifie pour toi le mot que tu as employé?
- À quoi te réfères-tu pour expliquer ce phénomène?

Deuxième étape : (autres expérimentations sur la flottaison)

Expérience #1 : Flotte ou coule?

Tester différents petits objets de forme circulaire ou autres formes, de matériaux variés (ex. bouton, anneau de plastique, bouchon de bière, attaches à pain, etc.)

Question : Pourquoi l'objet flotte ou coule? (faire référence à ses idées personnelles lors de l'expérimentation en classe, valider et transférer dans un autre contexte)

Expérience #2 : la balle de golf dans l'eau salée et dans l'eau non salée

L'élève met lui-même le sel dans l'eau.

Question : Peux-tu m'expliquer pourquoi la balle flotte dans l'eau salée et coule dans l'eau non salée?

Expérience #3 : dans un cylindre gradué de 25 cm de haut, j'ai déjà mis 50 ml de mélasse au fond. Je lui demande de verser doucement

- 50 mL de savon à vaisselle,
- 50 mL d'huile végétale,
- 50 mL d'alcool à friction,
- 50 mL d'huile minérale

Faire tomber une attache à pain ou un sou dans les liquides. Prédire, observer et discuter.

Questions : Décris-moi ce que tu observes. Comment peux-tu expliquer que ces liquides sont superposés et se placent en couches une par-dessus l'autre? Pourquoi l'objet coule et s'arrête dans un des liquides?

Troisième étape : (croyances épistémiques)

Tu avais complété un questionnaire et j'aimerais te poser des questions à ce sujet.

- 1- Explique-moi ton dessin du scientifique.
- 2- Pourquoi as-tu répondu « ... » aux questions 3-7-15-22?
3. Tout ce que l'enseignante dit dans la classe de science est vrai.
7. Le plus important en faisant des sciences est d'arriver à la bonne réponse.
15. En sciences, les idées changent parfois.
22. Les bonnes idées en sciences peuvent provenir de n'importe qui, pas uniquement des scientifiques.

APPENDICE D

CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE



Université du Québec à Trois-Rivières

CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE

RAPPORT DU COMITÉ D'ÉTHIQUE :

Le comité d'éthique de la recherche, mandaté à cette fin par l'Université, certifie avoir étudié le protocole de recherche :

Titre du projet : Le changement conceptuel intentionnel : croyances épistémiques et raisonnement analogique en apprentissage des sciences au primaire

Chercheurs :
Brigitte Laliberté
Département des sciences de l'éducation
Rodolphe Toussaint
Département des sciences de l'éducation

Organismes : LERTIE et fonds départemental de recherche

et a convenu que la proposition de cette recherche avec des êtres humains est conforme aux normes éthiques.

PÉRIODE DE VALIDITÉ DU PRÉSENT CERTIFICAT :

Date de début : 22 mars 2010

Date de fin : 01 avril 2011

COMPOSITION DU COMITÉ :

Le comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières est composé des catégories de personnes suivantes, nommées par le conseil d'administration :

- six professeurs actifs ou ayant été actifs en recherche, dont le président et le vice-président;
- le doyen des études de cycles supérieurs et de la recherche (membre d'office);
- une personne membre ou non de la communauté universitaire, possédant une expertise dans le domaine de l'éthique
- un(e) étudiant(e) de deuxième ou de troisième cycle;
- un technicien de laboratoire;
- une personne ayant une formation en droit et appelée à siéger lorsque les dossiers le requièrent;
- une personne extérieure à l'Université;
- un secrétaire provenant du Décanat des études de cycles supérieurs et de la recherche ou un substitut suggéré par le doyen des études de cycles supérieurs et de la recherche.

SIGNATURES :

L'Université du Québec à Trois-Rivières confirme, par la présente, que le comité d'éthique de la recherche a déclaré la recherche ci-dessus mentionnée entièrement conforme aux normes éthiques.


Héliène-Marie Thérien

Présidente du comité


Martine Y. Tremblay

Secrétaire du comité

Date d'émission : 22 mars 2010

N° du certificat : CER-10-155-06.03

DECSR

RÉFÉRENCES

- AAAS (1990). *Science for all Americans*. New York : Oxford University Press.
- AAAS (1993). *Benchmarks for Scientific Literacy*. New York: Oxford University Press.
- AAAS (1996). *National Science Education Standards*. Washington : National Academy Press.
- AAAS (2001a). *Atlas of science literacy – Project 2061*. Washington : DC.
- AAAS (2001b). *Project 2061 – Dialogue on early childhood Science, Mathematics, and Technology Education*. <http://www.project2061.org/>
- Allal, L. (2000). Discussion. Et l'Architecture des savoirs? *Revue suisse des sciences de l'éducation*, 22 (1), 165-172.
- Allègre, E. et Dessus, P. (2003, Octobre). *Un système d'observation et d'analyse en direct de séances d'enseignement*. Communication présentée aux Deuxièmes journées d'étude en Psychologie Ergonomique (ÉPIQUE 2003), Institut de psychologie, Boulogne – Billancourt, France.
- Anadón, M. et Savoie-Zajc, L. (2009). Introduction - L'analyse qualitative des données. *Recherches qualitatives*, 28(1), 1-7. Article disponible sur le site www.recherche-qualitative.qc.ca/revue.html
- Appleton, K. (2007). Elementary Science Teaching. Dans S. K. Abell et N. G. Lederman (Dir.), *Handbook Research in Science Education* (p. 493-535). Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Astington, J. W. (1993/2009). *Comment les enfants découvrent la pensée. La théorie de l'esprit chez l'enfant* (3^e éd.). Paris : Retz.
- Astington, J. W., Pelletier, J. et Homer, B. (2002). Theory of mind and epistemological development : the relation between children's second-order false belief understanding and their ability to reason about evidence. *New ideas in Psychology*, 20,

- Astolfi, J. P., Darot, E., Ginsburger-Vogel et Toussaint, J. (1997/2008). *Mots-clés de la didactique des sciences. Repères, définitions, bibliographie* (2^e éd.). Paris-Bruxelles : De Boeck.
- Astolfi, J.-P. et Develay, M. (1989/1998). *La didactique des sciences* (5^e éd.). Paris : Presses Universitaires de France.
- Astolfi, J. P., Peterfalvi, B. et Vérin, A. (1998/2006). *Comment les enfants apprennent les sciences?* (3^e éd.). Paris : Retz.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology : A cognitive view*. New-York : Holt, Rinehart and Winston.
- Bachelard, G. (1934/1967). *La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective* (5^e éd.). Paris : Librairie philosophique J. Vrin.
- Bachelard, G. (1934/1968). *Le nouvel esprit scientifique* (10^e éd.). Paris : Presses Universitaires de France.
- Barab S. A. et Plucker, J. A. (2002). Smart People or Smart Contexts? Cognition, Ability, and Talent Development in Age of Situated Approaches to Knowing and Learning. *Educational Psychologist*, 37 (3), 165-182.
- Bardin, L. (1977/2009). *L'analyse de contenu* (1^{re} éd. « Quadrige »). Paris : Presses Universitaires de France.
- Bednarz., N. et Garnier, C. (1989). *Construction des savoirs, obstacles et conflits*. Montréal : CIRADE et Agences d'Arc.
- Bégin, R. (2007). La philosophie des sciences à la rescousse de l'éducation. Dans G. Calabrese (Dir.), *Philosophie, science, politique : autour de Laurent Michel-Vacher* (p. 55 - 69). Montréal : Liber.
- Bélanger, M. (2008). *Du changement conceptuel à la complexification conceptuelle dans l'apprentissage des sciences*. Thèse doctorale inédite, Université de Montréal.
- Bereiter, C. et Scardamalia, M. (1989). Intentional learning as a goal of education, Dans L. B. Resnick (Dir.), *Knowing, Learning and Instruction : Essays in*

- honour of Robert Glaser* (p. 361-392). Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates.
- Bendixen, L. D. et Feucht, F. C. (2010). *Personal Epistemology in the Classroom : Theory, Research, and Implications for Practice*. New York : Cambridge University Press.
- Bendixen, L. D., Schraw, G. et Dunkle, M. E. (1998). Epistemic beliefs and moral reasoning. *The Journal of Psychology*, 132, 187-200.
- Bêty, M.-N. (2009). *Les principaux modèles de changement conceptuel et l'enseignement des sciences au primaire : état de la question*. Mémoire de maîtrise inédit, Université de Montréal.
- Bickman, L. (1977). La récolte de données I Les méthodes d'observation. Dans C. Selltiz, L. S. Wrightsman et S. W. Cook (Dir.), *Les méthodes de recherche en sciences sociales* (p. 247-286). Montréal : Les Éditions HRW.
- Biddulph, F. et Osborne, R. (1984). Pupils's ideas about floating and sinking. *Research in Science Education*, 14, 114-124.
- Blanché, R. (1995). *Encyclopaedia Universalis*, corpus 19 (p. 508-511). Paris : Productions RHAMNALES.
- Blanchette et Dunbar (2000). How analogies are Generated : The Roles of Structural and Superficial Similarity. *Memory and Cognition*, 29, 730-735.
- Bourdais, C. et Labrell, F. (2002). Stratégies parentales d'évocation des objets. Dans Cordier, F., François, J. (Dir.), *Catégorisation et Langage, Traité des Sciences Cognitives* (p. 203-220). Paris : Hermès.
- Boyes, M. C. et Chandler, M. (1992). Cognitive development, epistemic doubt, and identity formation in adolescence. *J. Youth Adolescent* 21, 277-303.
- Braine, M.D.S. (1992). Approches empiriques du langage de la pensée, Dans D. Andler (Éd.), *Épistémologie et cognition* (p. 19-26). Liège : Mardaga.
- Brassac, C. (2001). Formation et dialogisme : l'exemple d'un apprentissage situé et distribué. *Orientation scolaire et professionnelle*, 30 (2), 243-270.

- Brentano, F. (1874/2008). *Psychologie du point de vue empirique*. Paris : Vrin, Bibliothèque des Textes Philosophiques.
- Brown A. L. (1983). *Cognitive Development*. Unpublished manuscript, National Institute of Child Health and Human Development, Bethesda, MD.
- Brown, A. L., Bransford, J. D., Ferrara, R. A. et Campione, J. C. (1983). Learning, remembering, and understanding. Dans J. H. Flavell et E. M. Markman (Dir.), *Handbook of child psychology : Cognitive development, Vol. 3* (p. 77-166). New-York : Wiley.
- Brown, J. S., Collins, A. et Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18 (1), 32-42.
- Brown, K., Grimbeek, Parkinson, P. et Swindell, R. (2004). Assessing the Scientific Literacy of Younger Students : Moving on from the stereotypes of the Draw-A-Scientist-Test. *Educating : Weaving Research into Practice, vol. 1*, 144-152.
- Buldu, M. (2006). Young children's perceptions of scientists : a preliminary study. *Educational Research*, 48 (1), 121-132.
- Bunge, M. (1975). *La philosophie de la physique*. Paris : Éditions du Seuil.
- Burr, J. E. et Hofer, B. K. (2002). Personal epistemology and theory of mind : deciphering young children's belief about knowledge et knowing. *New Ideas in Psychology*, 20, 199-224.
- Buty, C. et Cornuéjols, A. (2002). Évolution des connaissances chez l'apprenant. Dans A. Tiberghien, *Des connaissances naïves au savoir scientifique* (p. 41-67). Paris, Programme École et sciences cognitives.
- Camus, J. F. (1989). La distinction entre les processus contrôlés et les processus automatiques chez Schneider et Shiffrin. Dans P. Perruchet, *Les automatismes cognitifs* (p. 55-80). Liège, Bruxelles : Mardaga.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge : MIT Press.
- Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E. et Unger, C. (1989). "An experiment is when you try it and see if it works" : A study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11, 514-529.



- Carey, S., et Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28, 235–251.
- Catellin, S. (2004). L'abduction: une pratique de la découverte scientifique et littéraire. *Hermès*, 34, 179-185.
- Cauzinille-Marmèche, E., Mathieu, J. et Weil-Barais, A. (1985). Raisonnement analogique et résolution de problèmes. *L'Année psychologique*, 85 (1), 49-72.
- Chambers, D. W. (1983). Stereotypic images of the scientist : The draw-a-scientist-test. *Science Education*, 76(5), 465-476.
- Champagne, A. B., Gunstone, R. F. et Klopfer, L. E. (1985). Effecting changes in cognitive structures among physics explanatory model construction. Dans L. West et A. Pines (Dir.), *Cognitive structure and conceptual change* (p. 61-90). Orlando : Academic Press.
- Chandler, M. J., Hallett, D. et Sokol, B. W. (2002). Competing claims about competing knowledge claims. Dans P. R. Pintrich (Dir.), *Personal Epistemology : The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (p. 145-168). Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates.
- Charpak G. (1996). *La main à la pâte, les sciences à l'école primaire*. Paris : Flammarion.
- Charpak, G. Léna, P. et Quéré. Y. (2005). *L'enfant et la science. L'aventure de la Main à la pâte*. Paris : Odile Jacob.
- Cheng, P. W. et Holyoak K. J. (1985). Pragmatic reasoning schema. *Cognitive Psychology*, 17, 391-416.
- Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes : why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14 (2), 161-199.
- Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change : belief revision, mental model transformation and categorical shift. Dans S. Vosniadou (Dir.), *International Handbook of research of conceptual change* (p. 61-82). New-York : Routledge.
- Chinn, C. A. (2006). The microgenetic method : current work and extensions to classroom research. Dans J. L. Green, G. Camilli et P. B. Elmore (Dir.),

Handbook of complementary methods in education research (p. 349-456). Mahwah : AERA.

Clancey, W. J. (1994). Situated cognition : How representations are created and given meaning. Dans R. Lewis et P. Mendelsohn (Dir.), *Lessons from Learning* (p. 231-242). Amsterdam : North-Holland.

Clarebout, G., Elen, J., Luyten, L. et Bamps, H. (2001). Assessing epistemological beliefs : Schommer's questionnaire revisited. *Educational Research and Evaluation*, 7(1) : 53-77.

Clark, D. B. (2006). Longitudinal conceptual change in student's understanding of thermal equilibrium : An examination of the process of conceptual restructuring. *Cognition and Instruction*, 24 (4), 467-563.

Clement, J. (1983, Novembre). *Analogical reasoning patterns in expert problem solving*. Readings for Intelligent Tutoring Seminar, University de Carnegie Mellon.

Clement, J. (1988). Observed methods for generating analogies in scientific problem solving. *Cognitive Science*, 12, 563-586.

Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1241-1257.

Clément, P. (2006). Le paradoxe « intérieur-extérieur ». Une séquence de classe (CE2) sur « Comment l'arbre grossit ». Dans V. Durand-Guerrier, J.-L. Héraud et C. Tisseron (Dir.), *Jeux et enjeux de langage dans l'élaboration des savoirs en classe* (p. 97-116). Lyon : IUFM et Presses Universitaires de Lyon.

Coletta, J. M. et Tcherkassof, A. (2003). *Les émotions : Cognition, langage et développement*. Bruxelles : Éditions Mardaga.

Conley, A. M., Pintrich, P. R., Vekiri, I. et Harrison, H. (2004). Changes in epistemological beliefs in elementary school. *Contemporary Educational Psychology*, 29, 186-204.

Conseil des ministres de l'Éducation du Canada (2004). *Les sciences dans les écoles du Canada 2004 Sciences III du PIRS 2004 Points saillants*. Toronto : Conseil des ministres de l'éducation (Canada).

- Conseil des sciences et de la technologie (2002). *La culture scientifique et technique au Québec : Bilan*. Sainte-Foy, Québec : Gouvernement du Québec.
- Cordier, F. et Labrell, F. (2000). L'enfant et la catégorisation : le traitement des propriétés des objets. *Psychologie Française*, 45, 2.
- Crahay, M. et Fagnant, A. (2007). À propos de l'épistémologie personnelle : un état des recherches anglo-saxonnes. *Revue française de pédagogie*, 16 (1), 79-117
- Crowder, E. M. (1996). Gestures at work in sense-making science talk. *The Journal of the Learning Sciences*, 5, 173–208.
- Crowder, E. M. et Newman, D. (1993). Telling what they know : The role of gestures and language in children's science explanations. *Pragmatics et Cognition*, 1, 341–376.
- Curtis R. V. et Reigeluth, C. M. (1984). The use of analogies in written text. *Instructional Science*, 13, 99-117.
- Damasio, A. R. (1995/2006). *L'erreur de Descartes : la raison des émotions*. Paris : Odile Jacob.
- David A. (1999, Mai). *Logique, épistémologie et méthodologie en sciences de gestion*. Communication présentée à la conférence de l'AIMS, France.
- De Backer, T. K., Crowson, H. M., Beesley, A. D., Thoma, S. J. et Hestevold, N. L. (2008). The challenge of Measuring Epistemic Beliefs : an analysis of three self-report Instruments, *The Journal of Experimental Education*, 76(3), 281-312.
- De Ketele, J.-M. et Roegiers, X. (2009). *Méthodologie du recueil d'informations. Fondements des méthodes d'observation, de questionnaire, d'interview et d'étude de documents* (4^e éd.). Bruxelles : De Boeck.
- Delignières, D. (1991). Apprentissage moteur et verbalisation. *Echanges & Controverses*, 4, 29-42,
- Derry, S. J. (1989). Putting Learning Strategies to Work. *Educational Leadership*, 46 (4), 4-10.
- Désautels, J. (1980). *École + science = échec*. Québec : Québec Science éditeur.

- Desclés, J. P. et Guentcheva Z. (1997, Juillet). *Énonciateur, locuteur, médiateur dans l'activité dialogique*. Communication présentée au Colloque international des Américanistes, Quito, Équateur.
- De Vecchi, G. (2006). *Enseigner l'expérimental en classe*. Paris : Hachette Éducation.
- De Vecchi, G. et Giordan, A. (2002). *L'enseignement scientifique. Comment faire pour que « ça marche »?* (2^e éd.). Nice : Z'Éditions.
- Devereux, G. (1980). *De l'angoisse à la méthode dans les sciences du comportement*. Paris : Flammarion.
- Dewey, J. (1933). *How we think : a restatement of the relation of reflective thinking to the education of process*. Chicago : H. Regnery.
- Dewey, J. (1938/1968). *Experience and Education*. New-York : Macmillan.
- Di Giuseppe, M. (2007). *Science Education A summary of Research, Theories, and Practice A Canadian Perspective*. Toronto : Thomson/Nelson.
- diSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. Dans G. Forman et P. Pufall (Dir.), *Constructivism in the computer age* (p. 49-70). Hillsdale : Erlbaum.
- diSessa, A. A. (2008). A bird's-eye view of the " pieces " vs. " coherence " controversy (from the " pieces " side of the fence). Dans S. Vosniadou (Ed.) (p. 35-60). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York : Routledge.
- diSessa, A. A., Elby, A. et Hammer, D. (2003). J's Epistemological Stance of Strategies. Dans G. M. Sinatra et P. R. Pintrich (Dir.), *Intentional Conceptual Change* (p. 237-290). Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- diSessa, A. A., Gillespie, N. M. et Esterly J. B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28, 843-900.
- Dole, J. A. et Sinatra, G. M. (1998). Reconceptualizing Change in the Cognitive Construction of Knowledge. *Educational Psychologist*, 33 (2/3), 109-128.

- Duell, O. K., Schommer-Atkins, M. (2001). Measures of People's Beliefs About Knowledge and Learning. *Educational Psychology Review*, 13 (4), 419-449.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, 649-672.
- Dunbar K. et Fugelsang, J. (2005). Scientific Thinking and Reasoning. Dans K. J. Holyoak et R. G. Morrison (Dir.), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (p. 705-726). Cambridge : Cambridge University Press.
- Durocher, M. (2009). *Le raisonnement scientifique des adolescents de quatrième secondaire. Changement conceptuel en contexte de situation-problème sur les phénomènes physiques de la flottaison et de la lumière*. Mémoire de maîtrise inédit, Université du Québec à Trois-Rivières.
- Elder, A. D. (2002). Characterizing fifth grade student's epistemological beliefs in science. Dans P. R. Pintrich (Dir.), *Personal Epistemology : The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (p. 347-363). Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates.
- Erikson, F. (1986). Qualitative methods in research of teaching. Dans M. C. Wittrock (Dir.), *Handbook of research on teaching* (p. 119-161). New-York : MacMillan.
- Evans J. St. B.T. (1984). Heuristic and analytic processes in reasoning. *British Journal of Psychology*, 75, 451-468.
- Evans J. St. B.T. (1989). *Biases in Human Reasoning*. Hove and London : Erlbaum.
- Ferrari M. et Elik, N. (2003). Influences on Intentional Conceptual Change. Dans G. M. Sinatra et P. R. Pintrich (Dir.), *Intentional Conceptual Change* (p. 21-54). Mahwah, London : Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Finson, K. D. (2002). Drawing a Scientist : What We Do and Do Not Know After Fifty Years of Drawings. *School Science and Mathematics*, 102, 7, 335-345.
- Flavell, J. H. (1992). Cognitive Development : Past, Present, and Future. *Development Psychology*, 28, (6), 998-1005.
- Flavell, J. H., Green, F.L. et Flavell, E. R. (1995). Young children's knowledge about thinking. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 60 (1, Serial no 243).

- Fourez, G. et Larochelle M. (2003). *Apprivoiser l'épistémologie*. Bruxelles : DeBoeck.
- Fournier, M. et Maheu, L. (1975). Nationalisme et nationalisation du champ scientifique québécois. *Sociologie et sociétés*, 7, (2) 89-114.
- Franco, G. M., Muis, K. R., Kendeou, P., Ranellucci, J., Sampasivam, L. et Wang, X. (2012). Examining the Influences of Epistemic Beliefs and Knowledge Representations on Cognitive Processing and Conceptual Change When Learning Physics. *Learning and Instruction*, 22(1), 62-77.
- Gadgil, S., Nokes-Malach, T. J. et Chi, M. T. H. (2012). Effectiveness of holistic mental model confrontation in driving conceptual change. *Learning and Instruction*, 22, (1), 47-61.
- Gauch, H. (2003). *Scientific Methods in Practice*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Gentner, D. (1983). Structure Mapping : A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 135-170.
- Gentner, D. (1988). Metaphor as Structure Mapping : The Relational Shift. *Child Development*, 59, 47-59.
- Gentner, D. et Toupin, C. (1986). Systematicity and surface similarity in the development of analogy. *Cognitive Science*, 10, 277-300.
- Gentner, G., Bowdle, D. F., Wolff, P. et Boronat, C. (2001). Metaphor is like analogy. Dans D. Gentner, K. J. Holyoak et B. N. Kokinov (Dir.) (p.199-253). *The Analogical Mind*. Cambridge : MIT Press.
- Gentner, D., Holyoak, K. J. et Kokinov, B. N. (Dir.) (2001). *The Analogical Mind*. Cambridge : MIT Press.
- Genzling, J.-C. (1996) L'enseignement de la physique à l'école élémentaire. Dans J. Toussaint (coordonné par). *Didactique appliquée de la physique-chimie. Éléments de formation pour l'enseignement* (p. 87-118). Paris : Nathan.
- Genzling, J.-C. et Pierrard, M.-A. (1994). La modélisation, la description, la conceptualisation, l'explication et la prédiction, Dans Équipe INRP/LIREST et

- J.-L. Martinand (Dir.) (p.47-84). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- George, C. (1985). *EPS interroge Christian George*. *EPS*, 195, 6-10, 196, 10-14.
- Georges, C. (1997). *Le polymorphisme du raisonnement humain. Une approche de la flexibilité de l'activité inférentielle*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Gineste, M.-D. (1997). *Analogie et cognition*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Gingras, Y. (2006). *Pourquoi parle-t-on de culture scientifique?* Repéré le 5 juillet 2010 à <http://www.sciencepresse.qc.ca/blogue/2006/12/21/pourquoi-parle-culture-scientifique>
- Giordan, A. (2002). Après Piaget, que peut-on dire sur le changement conceptuel? Dans R. M. J. Toussaint (Dir.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences, recherches et pratiques* (p. 13-29). Outremont : Les Éditions Logiques.
- Giordan A. (2007). *Faut-il supprimer les sciences à l'école?* Repéré le 21 février 2012 au site de Enseigner les sciences Réseau social d'échanges et de formation concernant l'enseignement des sciences : <http://educasciences.ning.com/profiles/blogs/bfaut-il-supprimer-les-sciences>
- Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts : A Teaching- With-Analogies model. Dans S. M. Glynn, R. H. Yeany et B. Britton (Dir.), *The Psychology of learning science* (p. 219-240). Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Gopnik, A. (1998). Explanation as orgasm. *Minds and Machines*, 8, 101-118.
- Goswami, U. (1992). *Analogical reasoning in children*. Hove : Lawrence Erlbaum Associates.
- Gregoire, M. (2003). Is it a challenge or a threat? A dual-process model of teachers' cognition and appraisal process during conceptual change. *Educational Psychology Review*, 15, 117-155.
- Guay, S., J.-C. Hamel et Lemay, S. (2003). *Clicmaths, 3e cycle du primaire, manuel de l'élève*. Laval : Éditions HRW.

- Haerle, F. C. et Bendixen, L. D. (2008). Personal Epistemology in Elementary Classrooms : A Conceptual Comparison of Germany and the United States and a Guide for Future Cross-Cultural Research. Dans M. S. Khine (Ed.), *Knowing, Knowledge and Beliefs : Epistemological Studies across diverse Cultures* (p. 151- 176). Dordrecht : Springer.
- Hardy I., Jonen A., Möller et Stern E. (2006). Effects of Instructional Support Within Constructivist Learning Environments for Elementary School Students' Understanding of "Floating and Sinking". *Journal of Educational Psychology*, 98 : 2, 307-326
- Härle, F. C. (2006). *Personal epistemologies of 4th graders. Their beliefs about knowledge and knowing*. Oldenburg : Didaktisches Zentrum.
- Harrison A. G. (2006). The Affective Dimension of Analogy. Dans P. L. Ausubon, A. G. Harrison et S. M. Ritchie (Dir.), *Metaphor and Analogy in Science Education* (p. 51-64). Dordrecht : Springer.
- Harrison A.G. et De Jong, O. (2005). Exploring the use of Multiple Analogical Models when Teaching and Learning Chemical Equilibrium. *Journal of Research in Science teaching*, 0, 00, 1-25.
- Hatano, G. et Inagaki, K. (1997). Qualitative changes in intuitive biology. *European Journal of Psychology of Education*, 12, 111-130.
- Hatano, G. et Inagaki, K. (2003). When is conceptual change intended? A cognitive-sociocultural view. Dans G. M. Sinatra et P. R. Pintrich (Dir.), *Intentional conceptual change* (p.403-422). Mahwah : Erlbaum.
- Hewson, P. W. (1982). A case study of conceptual change in special relativity : the influence of prior knowledge in learning. *European Journal of Science Education*, 4, 61-78.
- Hewson, P. W., Beeth M. E. et Thorley, N. R. (1998). Teaching for Conceptual Change. Dans B. J. Fraser et K. G. Tobin (Dir.), *International Handbook of science education* (p. 5-28). Great Britain : Kluwer Academic Publishers.
- Hofer, B. K. (2004). Epistemological understanding as a metacognitive process : Thinking aloud during online searching. *Educational Psychologist*, vol. XXXIX, no 1, 43-55.

- Hofer B. K. et Pintrich P. R. (1997). The development of epistemological theories : Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, 67 (1), 88-140.
- Holyoak, K. J. (2005). Analogy. Dans K. J. Holyoak et R. G. Morrison (Dir.), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (p. 117-142). Cambridge : Cambridge University Press.
- Holyoak, K. J. et Thagard, P. (1989). Analogical mapping by constraint satisfaction. *Cognitive Science*, 13, 295-336.
- Host, V. (1989). Systèmes et modèles : quelques repères bibliographiques. *Aster*, 8, 187-210.
- Houdé, O. (2004/2009). *La psychologie de l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Huang, I. (1931). Children's Explanations of Strange Phenomena. *Psychologische Forschung*, 14, 63-182.
- Hutchins, E. (1993). Learning to navigate. Dans S. Chaiklin et J. Lave (Dir.), *Understanding practice. Perspectives on activity and context* (p. 35- 63). New-York : Cambridge University Press.
- Indurkha, B. (2007). Rationality and reasoning with metaphors. *New Ideas in Psychology*, 25, 16-36.
- Inhelder, B. et Piaget, J. (1955/1970). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent* (2^e éd.). Paris : Presses Universitaires de France.
- Ionescu, S. et Blanchet, A. (2009) (sous la direction de). *Méthodologie de la recherche en psychologie clinique*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Jacob, P. (2004). *L'intentionnalité. Problèmes de philosophie de l'Esprit*. Paris : Odile Jacob.
- Jakobson, B. et Wickman, P. O. (2007). Transformation through Language Use : Children's Spontaneous Metaphors in Elementary School Science. *Science & Education*, 16, 267-289.

- Jeanneret, Y. (1993). Le choc des mots : pensée métaphorique et vulgarisation scientifique. *Communications et langages*, 93, 99-113.
- Johnson, B. et Christensen, L. (2004). *Education Research : Quantitative, qualitative and mixed approach*. Londres : Blackwell.
- Johnson, S. M. et Bolstad, O. D. (1973). Methodological issues in naturalistic observation : Some problems and solutions for field research. Dans L. A. Hamerlynck, L. C. Handy et E. J. Mash (Dir.), *Behavior change : Methodology, concepts and practice* (p. 7- 67). Champaign, III : Research Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Joshua, S. et Dupin, J. J. (1989). Analogies and « modeling analogies » in teaching : Some examples in basic electricity. *Science Education*, 73, 207-224.
- Joshua, S. et Dupin, J. J. (1999). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques* (2^e éd.). Paris : Presses Universitaires de France.
- Joung, Y. J. (2009). Children's Typically-Perceived-Situations of Floating and Sinking. *International Journal of Science Education*, 31 : 1,101-12.
- Kang, S., Scharmann, L.C., et Noh, T. (2004). Examining Students' Views on the Nature of Science : Results from Korean 6th, 8th, and 10th Graders. *Science Education*, 89(2), 314-334.
- Kaynar, D., Tekkaya, C. et Çakiroglu, J. (2009). Effectiveness of 5^e learning cycle instruction of students'achievement in cell concept and scientific epistemological beliefs, *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi (H.U. Journal of Éducation)*, 37 : 95-105.
- King, P. M. et Kitchener, K. S. (1994). *Developing reflective judgement : Understanding and promoting intellectual growth and critical thinking in adolescents and adults*. San Francisco : Jossey-Bass.
- Kittleson, J. M. (2011). Epistemological Beliefs of Third-Grade Students in an Investigation-Rich Classroom. *Science Education*, 95 (6), 1026-1048.
- Klaczynski, P. (2001). Analytic and Heuristic Processing Influences on Adolescent Reasoning and Decision-Making. *Child Development*, 72(3), 844-861.

- Kohn, R. C. et Nègre, P. (2003). *Les voies de l'observation Repères pour les pratiques de recherche en sciences humaines*. Paris : L'Harmattan.
- Kuhn, D. (2001). How do people know? *Psychological Science*, vol. XII (1), 1-8.
- Kuhn, D., Amsel E. et O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skill*. New-York : Academic Press.
- Kuhn, D., Cheney, R. et Weinstock, M. (2000). The development of epistemological understanding. *Cognitive Development*, 15, 309- 328.
- Kuhn, T. S. (1962/1983). *La structure des révolutions scientifiques* (2^e éd.). Paris : Flammarion.
- Lafosse - Marin, M.-O. et Laguës, M. (2007). *Dessine-moi un scientifique*. Paris : Éditions Bélin.
- Laliberté, B. (1995). *Étude du rôle de l'imaginaire dans les représentations «pré»-scientifiques chez des enfants du primaire*. Mémoire de maîtrise inédit, Université du Québec à Trois-Rivières.
- Langlois, S. (2008) *Raisonnement scientifique et changement conceptuel réalisé par des étudiants collégiaux dans un contexte d'expériences de laboratoires ouvertes*. Mémoire de maîtrise inédit, Université du Québec à Trois-Rivières.
- Laperrière, A. (2009). L'observation directe. Dans B. Gauthier (Dir.), *Recherche sociale. De la problématique à la collecte de données* (5^e éd.) (p. 311-336). Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Larcher, C. (1996). La physique et la chimie, sciences de modèles. Du monde réel aux connaissances scientifiques, en passant par la modélisation. Dans J. Toussaint (coord.). *Didactique appliquée de la physique-chimie. Éléments de formation pour l'enseignement* (p. 160-178). Paris : Nathan Pédagogie.
- Lave, J. (1988). *Cognition in practice*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Lave, J. (1993). Situating learning in communities of practice. Dans L. B. Resnick, J. M. Levine et S. D. Teasley (Dir.), *Perspectives on socially shared cognition* (p. 17-36). Washington : American Psychological Association.

- Lave, J. et Wenger, E. (1991). *Situated Learning : legitimate peripheral participation*. Cambridge, UK : Cambridge University Press.
- Leblanc, H. et Widsom, W. A. (1972). *Deductive logic*. New York : Allyn and Bacon.
- Leclercq, B. (2003) (coordonné par). *Leçons de Marie Curie recueillies par Isabelle Chavannes en 1907. Physique élémentaire pour les enfants de nos amis*. Courtaboeuf : EDP Sciences.
- Legendre, R. (2005). *Dictionnaire actuel de l'éducation* (3^e éd.). Montréal : Guérin éditeur ltée.
- Lemeignan, G. et Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette.
- Lessard-Hébert, M., Goyette, G. et Boutin, G. (1990). *Recherche qualitative : fondements et pratiques*. Montréal : Éditions Jeanne d'Arc inc.
- Limón, M. (2002). Conceptual change in history. Dans M. Limón et L. Mason (Dir.), *Reconsidering Conceptual Change* (p. 259-289). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Linn, M. C., Davis, E. A. et Bell, P. B. (2004). Inquiry and Technology. Dans M. C. Linn, E. A. Davis et P. B. Bell (Dir.), *Internet Environments for Science Education* (p. 3-28). Mahwah, New-Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.
- Linnenbrink, E. et Pintrich, P. R. (2002). Motivation as an Enabler for Academic Success. *School Psychology Review*, 31 (3), 313-327.
- Machamer, P., Darden, D. et Craver, C. F. (2000). Thinking about mechanisms. *Philosophy of science*, 67, 1-25.
- Marie-Victorin, frère (né Conrad Kirouac) (1938). La science et la question nationale. *Annales de l'ACFAS*, 5, 130-155.
- Markman, B. et Gentner, G. (2000). Structure Mapping in the Comparison Process. *The American Journal of Psychology*, 113 (4), 501-538.
- Martinand, J.-L. (2002). Apprendre à modéliser. Dans R. M. J. Toussaint (Dir.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences, recherches et pratiques* (p.47-68). Outremont : Les Éditions Logiques.

- Martinand, J.-L. et INRP/LIREST (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- Mason, C. L., Kahle, J. B., et Gardner, A. L. (1991). Draw-a-Scientist Test : Future implications. *School, Science and Mathematics*, 91(5), 193-198.
- Mason, L. (1994). Cognitive and metacognitive aspects in conceptual change by analogy. *Instructional Science*, 22, 157-187.
- Mason, L. (2003). Personal Epistemologies and Intentional Conceptual Change. Dans G. M. Sinatra et P. R. Pintrich (Dir.), *Intentional Conceptual Change* (p. 199-236). Mahwah, London : Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Mason, L. (2007). Introduction : Bridging the Cognitive and Sociocultural Approaches in Research on Conceptual Change : Is it Feasible? *Educational Psychologist*, 42 (1), 1-7.
- Megalakaki, O. et Labrell, F. (2009). Les conceptions naïves : connaissances organisées, bases des changements conceptuels. *Psychologie française*, 54, 1-9.
- Merenluoto, K. et Lehtinen, E. (2002). Conceptual change in mathematics : understanding the real numbers. Dans M. Limon et L. Mason (Dir), *Reconsidering Conceptual Change : Issues in Theory and Practice* (p. 233-257). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Mertens, D. M. (2010). *Research and Evaluation in Education and Psychology Integrating Diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods* (3^e éd.). Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Michaud, E. (1970). *La pédagogie des sciences*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Miles, M. B. et Huberman, A. M. (1994). Data management and analysis methods. Dans N. K. Denzin et Y. Lincoln (Dir.), *Handbook of qualitative research* (p. 428- 444). Newbury Park : Sage.
- Miles, M. B. et Huberman, A. M. (2003). *Analyse des données qualitatives* (2^e éd.). Paris, Bruxelles : de Boeck.

- Ministère de l'éducation, du loisir et du sport (2006). *Programme de formation de l'école québécoise. Science et technologie* (p. 143-161). Québec : Gouvernement du Québec.
- Moreau, D., Lestelin, B. et Beauchesne, S. (2005). Faire des sciences dans le cadre d'une communauté virtuelle éducative : devenir apprenti-chercheur. Nouveaux dispositifs, nouvelles rencontres avec les connaissances. INRP. *Aster*, 39.
- Moro, C. (2001). La cognition située sous le regard du paradigme historico-culturel vygostkien. *Revue suisse des sciences de l'éducation*, 23 (3), 493-512.
- Moschner, B., Anschuetz, A., Wernke, S. et Wagener, U. (2008). Measurement of Epistemological Beliefs and Learning Strategies of Elementary School Children. Dans M. S. Khine (Dir.), *Knowing, Knowledge and Beliefs Epistemological Studies across Diverse Cultures* (p.113-133). Dordrecht : Springer.
- Mourral, I. et Millet, L. (1995). *Petite encyclopédie philosophique*, Paris : Éditions universitaires.
- Mugler, C. (texte établi et traduit par) (1971). *Archimède Tome III. Des corps flottants, Stomachion, la méthode, le livre des lemmes, le problème des bœufs*. Paris : Société d'Édition « Les belles lettres ».
- Nersessian, N. J. (1998). Conceptual change. Dans W. Bechtel et G. Graham (Dir.), *A Companion to Cognitive Science* (p. 155-166). Blackwell, Malden, MA.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-Based Reasoning in Conceptual Change. Dans L. Magnani, N. J. Nersessian et P. Thagard (Dir.), *Model-Based Reasoning in Science Discovery* (p. 5-22). Pavia : Springer.
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. Dans P. Carruthers, S. Stich et M. Siegal (Dir.), *The cognitive basis of science* (p. 133-153). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nersessian, N. J. (2008a). *Creating Scientific Concepts*. Cambridge: The MIT Press.
- Nersessian, N. J. (2008b). Mental Modeling in Conceptual Change. Dans S. Vosniadou (Dir.) *International Handbook of Research on Conceptual Change* (p. 391-416). London : Routledge.

- Nersessian, N. J. et Chandrasekharan, S. (2009). Hybrid analogies in conceptual innovation in science. *Cognitive Systems Research*, 10, 178-188.
- Nicolle, J.-M. (2006). *Histoire des méthodes scientifiques. Du théorème de Thalès au clonage*. Rosny : Bréal Éditions.
- Noveck, I. A. (2002). Le raisonnement propositionnel. Dans G. Politzer, *Traité de Sciences cognitives : le raisonnement humain* (p. 103-136). Paris : Hermès.
- Oléron, P. (1977). *Le raisonnement*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Organisation de coopération et de développement économique (2006a). *Programme international pour le suivi des acquis. La performance des jeunes du Canada en lecture, en mathématiques et en sciences*. Gouvernement du Canada.
- Organisation de coopération et de développement économique (2006b). *Programme international pour le suivi des acquis des élèves. Les compétences en sciences, un atout pour réussir Volume 1 – Analyse des résultats*. Gouvernement du Canada.
- Overton, W., Ward, S., Noveck, I., Black J. et O'Brien D. (1987). Form and Content in the Development of Deductive Reasoning. *Developmental Psychology*, 25(1), 22-30.
- Özdemir G. et Clark, D. B. (2007). An Overview of Conceptual Change Theories. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3 (4), 351-361.
- Paillé, P. et Mucchielli, A. (2002). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales*. Paris : Armand Colin.
- Passeron, J.- C. (1991). *Le raisonnement sociologique : l'espace non-poppérien du raisonnement naturel. Essais & Recherches*. Paris : Nathan.
- Pea, R. (1993). Practices of distributed intelligence and designs for education. Dans G. Salomon (Dir.), *Distributed Cognitions : psychological and educational considerations* (p. 47-87). New-York : Cambridge University press.

- Peer, J. et Atputhasamy, L. (2005). Student's Epistemological beliefs about science : the impact of school experience. *Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia*, 28 (2), 81-95.
- Peirce, C. S. (2002). *Pragmatisme et pragmatisme. Oeuvres I*. Traduction de C. Tiercelin et P. Thibaud. Paris : Les Éditions du Cerf.
- Pellissier-Tanon, A. (2001). L'induction, au cœur du dilemme des savoirs en sciences des gestions. Dans A.C. Martinet et R.-A. Thiétart (Coord. par). *Stratégies, Actualité et futurs de la recherche* (p. 55-66). Paris : Vuibert, FNEGE
- Pépin, É. (2009). *La nature de l'intentionnalité dans la philosophie de John Searle*. Mémoire de maîtrise inédit, Université du Québec à Trois-Rivières.
- Perelman, C. et Olbretchs-Tyteca, L. (1958/1988). *Traité de l'argumentation. La nouvelle rhétorique* (5^e éd.). Bruxelles : Édition de l'Université de Bruxelles.
- Perkins, D. N. (1995). L'individu-plus. Une vision distribuée de la pensée et de l'apprentissage. *Revue française de Pédagogie*, 111, 57-71.
- Piaget, J. (1937/1963). *La construction du réel chez l'enfant* (3^e éd.). Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Piaget, J. (1975). *L'équilibration des structures cognitives - Problème central du développement*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1924/1978). *Le jugement et le raisonnement chez l'enfant* (8^e éd.). Paris : Delachaux et Niestlé.
- Pintrich, P. (1994). Continuities and Discontinuities : Future Directions for Research in Educational Psychology. *Educational Psychologist*, 29 (3), 137-148.
- Pintrich, P. (2000). Multiple Goals, Multiple Pathways : The Role of Goal Orientation in Learning and Achievement. *Journal of Educational Psychology*, 92 (3), 544-555.
- Pintrich, P. (2003). A Motivational Science Perspective on the Role of Student Motivation in Learning and Teaching Contexts. *Journal of Educational Psychology*, 95, 4 (667-686).

- Pintrich, P., Marx, R. W. et Boyle, R. A. (1993). Beyond Cold Conceptual Change : The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63, 167-196.
- Pintrich, P., Smith, D., Garcia, T. et McKeachie, W. (1993). Predictive validity and reliability of the Motivates Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ). *Educational and Psychological Measurement*, 53, 801- 813.
- Politzer, G. (1992). Logique mentale et raisonnement naturel. Dans D. Andler, (Dir.). *Épistémologie et cognition* (p. 79-86). Liège : Mardaga.
- Politzer, G. (2007). La logique, le langage et les variétés de raisonnement. Dans S. Rossi, J.- B. Van der Henst et P. Barrouillet, *Psychologies du raisonnement* (p. 9 à 37). Bruxelles : De Boeck.
- Postic M. et de Ketele J.- M. (1994). *Observer les situations éducatives* (2^e éd.). Paris : Presses Universitaires de France.
- Potvin, P. et Riopel, M. (2006). « More C; Less B »: Étude d'intuitions mobilisées par des élèves du secondaire en contexte d'exploration libre des lois de la mécanique. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 6:3, 245-266.
- Potvin, P. et Thouin, M. (2003). Étude qualitative d'évolutions conceptuelles en contexte d'explorations libres en physique-mécanique au secondaire. *Revue des sciences de l'éducation*, Vol. XXIX (3), 525-544.
- Potvin, P., Mercier, J., Charland, P. et Riopel, M. (2012). Does Classroom Explication of Initial Conceptions Favour Conceptual Change or is it Counter-Productive? *Research Science Education*, 42, 401-414.
- Posner, G. Strike, K., Hewson, P. et Gertzog, W. (1982). Accomodation of a scientific conception : toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), 211-227.
- Powell, A. B., Francisco, J. M. et Maher, C. A. (2003). An analytical model for studying the development of learners' mathematical ideas and reasoning using videotape data. *Journal of Mathematical Behavior*, 22, 405-435.

- Quéré, Y. (1999). Les enjeux de la culture scientifique. Dans *Actes du colloque À propos de « La main à la pâte » : les sciences et l'école primaire* (p. 27-31). Paris : INRP.
- Resnick, L. B. (1987). Learning in school an out. *Educational Researcher*, 16 (9), 13-20.
- Resnick, L. B. (1994). Situated rationalism : Biological and Social Preparation for learning. Dans L. A. Hirschfeld et S. A. Gelman (Dir.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (p. 474-493). Cambridge : Cambridge University Press.
- Richard, J.- F. (2004). *Les activités mentales De l'interprétation de l'information à l'action* (4^e éd.). Paris : Armand Colin.
- Richland, L., Morrison, R et Holyoak, K. (2006). Children's development of analogical reasoning : Insights from scene analogy problems. *Journal of experimental Child Psychology*, 94, 249-273.
- Ripoll, T. (1992) La recherche sur le raisonnement par analogie : objectifs, difficultés et solutions. *L'Année psychologique*, 92 (2), 263 – 288.
- Rocard, M. (président) (2007). *L'enseignement scientifique aujourd'hui : une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe*. Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes.
- Rossi, S., Van der Henst, J.-B. et Barrouillet, P. (2007). *Psychologies du raisonnement*. Bruxelles : De Boeck.
- Roth, W. -M. (2001). Gestures : Their Role in Teaching and Learning. *Review of Educational Research*, 71(3), 365-392.
- Rowell, J. et Dawson, C. (1983). Laboratory Counterexamples and the growth of knowledge in science. *International Journal of Science Education*, 5, 203-215.
- Royce, J. R. (1978). Three ways of knowing and the scientific world view. *Methodology and Science*, 11, 146–164.
- Russ, R. S., Coffey, J. E., Hammer, D., Hutchison, P. (2008). Making Classroom Assessment More Accountable to Scientific Reasoning : A case for Attending to Mechanistic Thinking, *Science education*, 1-17.

- Russ, R. S., Scherr, R. E., Hammer, D. et Mikeska, J. (2007). Recognizing Mechanistic Reasoning in Student Scientific Inquiry : A Framework for Discourse Analysis Developed From Philosophy of Science. *Science Education*, 92, 499-525.
- Salomon, G. (1993). *Distributed Cognitions : psychological and educational considerations*. New-York : Cambridge University press.
- Sander, E. (2000). *L'analogie, du naïf au créatif. Analogie et catégorisation*. Paris : l'Harmattan.
- Sander, E. (2006). Raisonement et résolution de problème. Dans S. Ionescu et A. Blanchet (Dir.), *Psychologie cognitive et bases neurophysiologiques du fonctionnement cognitif* (p. 159-190). Paris : Presses Universitaires de France.
- Savoie-Zajc, L. (2004). La recherche qualitative / interprétative. Dans T. Karsenti et L. Savoie-Zajc, *La recherche en éducation : étapes et approches* (p. 123-150). Sherbrooke : Éditions CRP.
- Scheffler, I. (1991). *In praise of the cognitive emotions, and others essays in the philosophy of education*. New-York : Routledge.
- Schommer, M. (1990). Effects of beliefs about the nature of knowledge on comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 82(3), 498-504.
- Schommer, M. (1994). Synthesizing epistemological belief research : tentative understanding and provocative confusions. *Educational Psychology*, 6 (4), 293-319.
- Schraw, G., Bendixen, L. D. et Dunkle, M. E. (2002). Development and validation of the Epistemic Belief of Inventory (EBI). Dans B. H. Pintrich (Dir.), *Personal epistemology : The psychology of beliefs about Knowledge and Knowing* (p. 103-118). Mahwah : Erlbaum.
- Schunk, D. H. (1991). Self-efficacy and academic motivation. *Educational Psychologist*, 26 (3-4), 207-231.
- Searle, J. R. (1985). *L'Intentionnalité. Essai de philosophie des états mentaux*. Paris : Les Éditions de Minuit.

- Siegler, R. S. et Wagner Alibali, M. W. (2004). *Children's thinking, Fourth Edition*. Upper Saddle River : Pearson-Prentice Hall.
- Sinatra, G. M. (2000). From passive to Active to Intentional : Changing Conceptions of the Learner. Dans G. M. Sinatra (Dir.), *What does it mean to be an intentional learner? Alternative perspectives*. Symposium presented at the American Educational Research Association Annual Meeting, New Orleans.
- Sinatra, G. M. (2005). The «Warming Trend» in Conceptual Change Research : The Legacy of Paul R. Pintrich. *Educational Psychologist*, 40 (2), 107-115.
- Sinatra, G. M. et Pintrich, P. R. (2003). *Intentional Conceptual Change*. Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Slotta, J. D. et Chi, M. T. H. (2006). Helping students understand challenging topics in science through ontology training. *Cognition and Instruction*, 24 (2), 261-289.
- Smith, C. L., Maclin, D., Houghton, C., Hennessey, M. G. (2000). Sixth-Grade Student's Epistemologies of Science : The Impact of Science Experiences on Epistemological Development. *Cognition and Instruction*, 18 (3), 349-422.
- Smith, J. P., diSessa, A. et Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived : Constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of Learning Science*, 23, 1-19.
- Southerland, S. A., Sinatra, G. M. et Matthews, M. R. (2001). Belief, Knowledge, and Science Education. *Educational Psychology Review*, 13 (4), 325-351.
- Spellmann B. A. et Holyoak, K. J. (1992). If Saddam is Hitler then who is George Bush? Analogical Mapping between systems of social roles. *Journal of Personality and Social Psychology* 62, 913-933.
- Stavy, R. et Tirosh, D. (2000). *How students (mis-)understand science and mathematics*. New York, London: Teachers College Press.
- Sternberg R. J. (1977). *Intelligence, information processing and analogical reasoning : The componentiel analysis of human abilities*. Hillsdale : Lawrence, Erlbaum.

- Strike, K. A. et Posner, G. J., (1992). A revisionist theory of conceptual change. Dans R. Duschl et R. J. Hamilton (Dir.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice* (p. 147-176). Albany, N.Y. : State University of New York Press.
- Tashakkori, A. et Teddlie, C. (1998). *Mixed Methodology Combining Qualitative and Quantitative Approaches*. Thousand Oaks, London, New Delhi: SAGE Publications.
- Tashakkori, A. et Teddlie, C. (Dir.) (2010). *Mixed Methods in Social & Behavioral Research* (2^e éd.). Thousand Oaks, London, New Delhi, Singapore : SAGE Publications.
- Thagard, P. (2002). The passionate scientist : emotion in scientific cognition. Dans P. Carruthers, S. Stich et M. Siegal (Dir.), *The cognitive basis of science* (p. 235-250). Cambridge : Cambridge University Press.
- 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), 77-95.
- Thouin, M. (1985). Les représentations de concepts en sciences physiques chez les jeunes. *Revue des sciences de l'éducation*, 11, 2, 247-258.
- Toussaint, J. et Gréa, J. (1996). Construire des concepts et mettre en œuvre des raisonnements. Dans J. Toussaint (coord.). *Didactique appliquée de la physique-chimie. Éléments de formation pour l'enseignement* (p. 87-118). Paris : Nathan.
- Toussaint, R. M. J. (sous la direction de) (2002). *Changement conceptuel et apprentissage des sciences, recherches et pratiques*. Outremont : Les Éditions Logiques.
- Toussaint, R. M. J. (2002). « Dis, Archimède! Comment ça flotte? » Changements conceptuels et apprentissage de systèmes complexes. Dans R. M. J. Toussaint (Dir.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences, recherches et pratiques* (p. 31-46). Outremont : Éditions Logiques.
- Toussaint, R. M. J. (sous la direction de) (2004). *Représentations d'élèves envers la Science et la Technologie*. Rapport de recherche Volume 1. Trois-Rivières : UQTR, LERTIE.

- Toussaint R. M. J. et Lavergne, M.- H. (2005). Problèmes complexes flous en environnement et pensée réflexive d'élèves du secondaire. INRP. *ASTER*, 40, 1-28.
- Toussaint, R. M. J., Lavigne, A., Laliberté, B., Des Lierres et Khanh-Thanh T. (2001). *Apprentissage et enseignement des sciences et de la technologie au primaire*. Montréal : Gaëtan Morin Éditeur.
- Treagust, D. F. (1993). The evolution of an approach for using analogies in teaching and learning of science. *Research in Science Education*, 23, 293-301.
- Treagust D. F. et Duit, R. (2008). Conceptual Change : a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Culture Study of Science Education*, 3, 297-328.
- UNESCO (2002). *Editorial no 208 : UNESCO Culture Sector*. Repéré le 5 décembre 2011 au portail de l'UNESCO : http://portal.unesco.org/culture/en/ev.php-URL_ID=5293&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html
- UNESCO (2009). *De nouvelles approches pour l'enseignement des sciences : thème du forum UNESCO du Futur, 25 novembre 2009*. Repéré le 3 janvier 2012 à http://www.unesco.org/new/fr/media-services/single-view/news/unesco_future_forum_will_explore_new_approaches_to_science_education/
- Vallerand, R. (1989). Vers une méthodologie de validation transculturelle de questionnaires psychologiques : Implications pour la recherche en langue française. *Psychologie canadienne*, 30, 662-680.
- Venville G. J. et Treagust, D. F. (1999). The role of analogies in promoting conceptual change in biology. *Instructional Science*, 24, 295-320.
- Vergnaud, G. (2002). L'explication est-elle autre chose que la conceptualisation? Dans M. Saada-Robert et F. Leutenegger, *Expliquer et comprendre en sciences de l'éducation* (p. 31-44). Bruxelles : De Boeck Supérieur « Raisons éducatives ».
- Vermersch, P. (1994/2011). *L'entretien d'explicitation* (7^e éd.). Issy-les-Moulineaux : ESF éditeur.

- Vosniadou, S. (2003) Exploring the Relationships between Conceptual Change and Intentional Learning. Dans G. M. Sinatra et P. R. Pintrich (Dir.), *Intentional Conceptual Change* (p. 407-428). Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Vosniadou, S. (2007a). Conceptual Change and Education. *Human Development*, 50, 47-54.
- Vosniadou, S. (2007b). The Cognitive–situative divide and the problem of conceptual change. *Educational Psychologist*, 42(1), 55–66.
- Vosniadou, S. (2008). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New-York : Routledge.
- Vosniadou, S. et Brewer, W. F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive science*, 18 (1), 123-183.
- Vosniadou S. et Ionides, C. (1998) From Conceptual Development to Science Education : A Psychological Point of View. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1213-1230.
- Vosniadou, S. et Schommer, M. (1988). Explanatory Analogies Can Help Children Acquire Information From Expository Text. *Journal of Educational Psychology*, 80 (4), 524-536.
- Vygotski, L. S. (1930/1985). La méthode instrumentale en psychologie. Dans B. Schneuwly et J. P. Bronckart (Dir.), *Vygotski aujourd'hui* (p. 39-47). Neuchâtel-Paris : Delachaux & Niestlé.
- Ward, S. et Overton W. (1990) Semantic Familiarity, Relevance and the Development of Deductive Reasoning. *Developmental Psychology*, 26(3), 488-493.
- Watters, J. et English L. (1995). Children's application of simultaneous and successive processing and inductive reasoning problems: implications for developing scientific reasoning skills. *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (7), 699-714.
- Weil-Barais, A. (1993/2001) (sous la direction de). *L'homme cognitif* (6^e éd.). Paris : Presse Universitaires de France.

- Weil-Barais, A. (2004) (sous la coordination de). *Les apprentissages scolaires*. Rosny-sous-Bois : Bréal Éditions.
- Wellman, H. M. et Gelman, S. A. (1992). Cognitive development : Foundation theories of core domains. *Annual Review of Psychology*, 43, 337 – 375.
- Wickman P. - O. (2004). The Practical Epistemologies of the Classroom : A Study of Laboratory Work. *Science Education*, 88, 325-344.
- Wolcott, H. F. (1994). *Transforming qualitative data : description, analysis and interpretation*. Thousand Oaks : Sage.
- Wood, P. et Kardash, C. (2002). Critical elements in the design and analysis of studies of epistemology. Dans B. K. Hofer et P. R. Pintrich (Dir.), *Personal epistemology : The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (p. 231–260). Mahwah, NJ : Erlbaum.
- Yang, F.-Y. et Tsai, C.-C. (2010). Reasoning about science-related uncertain issues and epistemological perspectives among children, *Instr. Science*, 38, 325–354.
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27, 172-223.

