

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

COMPARAISON EXPÉRIMENTALE DE L'EFFET DE TROIS SÉQUENCES
D'ENSEIGNEMENT DIFFÉRENTES SUR L'EFFICACITÉ DU CHANGEMENT
CONCEPTUEL EN SCIENCES AU PRIMAIRE

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN ÉDUCATION

PAR

ERIK SAURIOL

JANVIER 2016

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

À tous les enseignants friands de dépassement

REMERCIEMENTS

Toute ma reconnaissance est offerte à Patrice Potvin, mon directeur de recherche, qui m'a guidé avec une attention constante tout au long de mon parcours qui ne fut pas de tout repos. Sa grande confiance en moi a nourri ma motivation et ma détermination. Ce fut un honneur et un privilège de travailler avec ce chercheur érudit. Il possède des qualités que j'ai beaucoup appréciées tout au long de ma recherche : rigueur, persévérance, honnêteté intellectuelle, générosité, disponibilité. Ses conseils éclairants et ses encouragements m'ont aidé à persévérer malgré les graves problèmes de santé qui m'ont affecté lors de la rédaction du présent mémoire.

Je souligne également l'apport des membres du comité d'évaluation de cette étude, Steve Masson et Patrick Charland. Leurs remarques judicieuses, ainsi que leurs conseils avisés à la suite de mon séminaire ont enrichi mon mémoire et m'ont permis de peaufiner certains éléments conceptuels et techniques. Je salue avec gratitude mes confrères de l'Équipe de Recherche en Éducation scientifique et technologique (EREST), notamment Guillaume Cyr, Ousmane Sy et Yannick Skelling-Desmeules pour leur aide lors de la collecte des données au Centre des sciences de Montréal (CSM). Je remercie Martin Riopel, pour ses conseils éclairants lors de l'interprétation des résultats de l'expérimentation à la suite de l'analyse des données.

Je remercie les élèves, les directeurs, les conseillers pédagogiques (Myriam Larue et Martine Hart) et les enseignants des Commissions scolaires de la Seigneurie-des-Mille-Îles et Marie-Victorin qui ont accepté de participer à cette étude. J'offre d'ailleurs un remerciement tout particulier aux enfants qui ont généreusement déployé leurs raisonnements et qui ont fourni de façon naturelle et gratuite la matière première à l'édification de cette étude. Je remercie également le Centre des sciences

de Montréal (Isabel Dansereau et Toufik Younes) pour leur aide dans la coordination de la visite. J'adresse aussi mes remerciements aux agentes administratives de la Faculté des sciences de l'éducation, particulièrement à Marlaine Grenier, dont la gentillesse et la compétence sont remarquables.

Je tiens aussi à remercier du fond du cœur mes proches. Je remercie tout particulièrement Frédérick, Christel et Jonathan pour leur aide lors de la création des deux films didactiques utilisés lors de mon expérimentation. Un merci tout spécial à mes parents Thérèse et Yvon pour leur aide constante ainsi que pour m'avoir inculqué le sens de l'effort et à mes sœurs Véronique et Katherine, pour leur soutien moral.

Enfin, merci aux donateurs de la Fondation de l'UQAM pour les bourses qu'ils m'ont attribuées tout au long de mon cheminement. Cette recherche a été rendue possible grâce à la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI; numéro de subvention : 12 751), qui a fourni l'équipement, et la Fondation Lorne-Trottier, qui a procuré les incitatifs à la participation.

Mille mercis!

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	iv
LISTE DES FIGURES	ixi
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
RÉSUMÉ	xii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I PROBLÉMATIQUE.....	3
1.1 Aperçu général des problèmes de l'éducation scientifique.....	3
1.2 Le changement conceptuel en tant que modèle d'apprentissage des sciences.....	5
1.3 Le conflit cognitif en tant que stratégie favorisant le changement conceptuel	7
1.4 La remise en question du conflit cognitif.....	8
1.5 Le moment où le conflit cognitif est administré.....	11
1.6 La question de recherche.....	13
1.7 Pertinence de la recherche.....	14
CHAPITRE II CADRE THÉORIQUE.....	15
2.1 Les conceptions initiales	15
2.2 Conceptions initiales liées au concept de flottabilité.....	19
2.3 Le changement conceptuel	21

2.3.1 Les principaux modèles de changement conceptuel.....	25
2.3.1.2 Le modèle de Posner, Strike, Hewson et Gertzog.....	26
2.3.1.2 Le modèle de Nussbaum et Novick.....	28
2.3.1.3 Le modèle de Giordan et de Vecchi	30
2.3.1.4 Le modèle de Vosniadou	32
2.3.1.5 Le modèle de diSessa	34
2.3.1.6 Le modèle de Potvin.....	36
2.3.2 Discussion au sujet des modèles présentés	39
2.4 Le conflit cognitif	40
2.4.1 Limites du conflit cognitif.....	42
2.4.2 Rôles du conflit cognitif.....	43
2.4.3 Le moment où le conflit cognitif est administré.....	44
2.4.4 Les événements discordants	46
2.5 Hypothèses de recherche	48
CHAPITRE III	
MÉTHODOLOGIE	50
3.1 Sujets.....	50
3.2 Considérations éthiques	51
3.3 Tâche.....	51
3.4 Traitements.....	55
3.4.1 La vidéo de l'enseignement traditionnel (ET).....	56
3.4.2 La vidéo du conflit cognitif (CC)	60
3.5 Protocole	65

3.6 Modalités d'analyse des données.....	68
CHAPITRE IV	
RÉSULTATS, INTERPRÉTATION ET DISCUSSION	70
4.1 Méthodes d'analyse des résultats.....	70
4.2 Résultats, interprétation et discussion.....	72
4.2.1 Exactitude des réponses	74
4.2.2 Temps de réaction.....	80
CONCLUSION	86
APPENDICE A	
FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT	90
APPENDICE B	
POWERPOINT UTILISÉ LORS DE L'EXPÉRIMENTATION	93
LISTE DES RÉFÉRENCES	96

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
2.1	Le cycle général de l'évolution de Renald Legendre (adapté de Legendre, 2005).....	23
3.1	Touches et doigts utilisés pour répondre à la tâche	53
3.2	Exemples de <i>stimuli</i> et leurs catégories respectives	54
3.3	Échelle descriptive pour les vidéos d'enseignement	57
3.4	Objets usuels utilisés dans les vidéos ET et CC	58
3.5	Images provenant de la vidéo ET	60
3.6	Première série de dessins – intuitif	62
3.7	Deuxième série de dessins – contre-intuitif	62
3.8	Troisième série de dessins – contre-intuitif.....	63
3.9	Images provenant de la vidéo CC	64
3.10	Sujet effectuant la tâche au LabUQAM	66
4.1	Gains d'exactitude pour chaque condition.....	77
4.2	Gains d'exactitude pour chaque condition, selon les catégories de stimuli.....	78
4.3	Réduction des temps de réaction pour chaque condition	83

4.4	Réduction des temps de réaction pour chaque condition, selon les catégories de <i>stimuli</i>	83
-----	---	----

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
2.1	Conceptions initiales des enfants vis-à-vis de la flottabilité (adapté de Chidsey et Henriques, 1996).....	20
2.2	Éléments de cadres conceptuels naïfs et certaines conceptions initiales incidentes (adapté de Potvin, 2011).....	33
3.1	Description des conditions	68
4.1	Statistiques descriptives en lien avec l'exactitude des réponses et le temps de réaction.....	73
4.2	Exactitude lors des pré-tests et posttests, et gains d'exactitude pour chaque catégorie de stimulus.....	75
4.3	Exactitude lors des pré-tests et posttests, et résultats au test t, pour chaque condition	76
4.4	Temps de réaction lors des pré-tests et posttests pour les réponses exactes, et réduction de temps de réaction pour chaque catégorie de stimuli	80
4.5	Temps de réaction lors des pré-tests et posttests pour les réponses exactes, et résultats au test t, pour chaque condition	82

RÉSUMÉ

L'apprentissage se révèle parfois ardu pour les élèves, notamment lorsqu'ils remettent en cause leurs conceptions initiales. Cette problématique a fait l'objet de multiples études pendant les dernières décennies, particulièrement dans le domaine des sciences. Un champ de recherche s'est dégagé des autres quant aux solutions novatrices qu'il propose; il s'agit de celui du changement conceptuel. Plusieurs recherches s'interrogent sur sa pertinence et remettent en cause la façon d'utiliser une stratégie didactique traditionnellement utilisée de ce champ de recherche, soit le conflit cognitif. Notre étude s'intéresse particulièrement au meilleur moment de faire vivre ledit conflit cognitif au sein d'une séquence d'enseignement, soit de manière instigatrice ou confirmatoire.

Afin de clarifier ce questionnement tant pour les bénéficiaires de la recherche en sciences de l'éducation que pour celui des praticiens que sont les enseignants, cette étude a examiné les effets de trois conditions d'enseignement différentes sur 558 élèves de cinquième et sixième années : le modèle *classique* de changement conceptuel (pour lequel le conflit cognitif est considéré comme instigateur à la transformation des connaissances), le modèle de *prévalence* du changement conceptuel (dans lequel le conflit cognitif est considéré comme confirmatoire par rapport à la transformation des connaissances) et la *répétition de l'enseignement traditionnel* (qui évite les conflits cognitifs et se concentre sur l'automatisation des processus de pensée appropriés). Ces conditions d'enseignement ont été réduites à des considérations séquentielles, puisque les participants assujettis au modèle *classique* ont d'abord été soumis à un éventuel conflit cognitif induit par une première vidéo, suivi d'une autre vidéo sur les conceptions ciblées; les participants du modèle de *prévalence* ont été soumis aux mêmes vidéos, mais dans l'ordre chronologique inverse; et les participants du modèle de *répétition* ont regardé deux fois la vidéo relative à « l'enseignement traditionnel ». Les différences dans l'exactitude des réponses (*accuracy*) et les temps de réaction (*response times*) des sujets aux pré-test et posttest informatisés et validés de la tâche « flotte/coule » ont été analysés. Les résultats et interprétations suggèrent que (1) les conflits cognitifs sont utiles au sein de séquences d'enseignement qui visent à produire des changements conceptuels, mais (2), ces conflits ne doivent pas nécessairement être déclenchés dès le début de séquences d'enseignement, soit de manière instigatrice, et donc que (3) le modèle de prévalence, utilisant le conflit cognitif de façon confirmatoire, pourrait être le meilleur afin de promouvoir des changements conceptuels dans le contexte de l'enseignement des sciences à l'école.

Les résultats de cette recherche expérimentale permettent de proposer des prescriptions présentant un intérêt réel pour l'enseignement des sciences, mais également pour l'enseignement d'autres matières ainsi que pour les nombreux

chercheurs s'intéressant au changement conceptuel et plus particulièrement aux conflits cognitifs.

Mots-clés : Éducation scientifique, enseignement primaire, changement conceptuel, conflit cognitif, conceptions initiales, conceptions erronées (*misconceptions*), flottabilité.

ABSTRACT

Learning is sometimes difficult for students, especially when questioning their initial conceptions. This issue has been the subject of numerous studies in recent decades, especially in the sciences spectrum. A research field that has emerged as to the innovative solutions it offers is known as “conceptual change”. Several researches challenge the didactic strategy traditionally used in this field of research, the cognitive conflict, have been identified. Our study is particularly interested in studying the best time to experience cognitive conflict within a teaching sequence, whether in an “instigator” or “confirmatory” fashion.

To clarify this issue for both the benefits of research in education sciences and for that practitioners such as teachers, this study investigated the effects on 558 grades five and six students under three different teaching conditions: the *classical* model of conceptual change (for which cognitive conflict is considered as instigator to the transformation of knowledge), the *prevalence* model of conceptual change (wherein the cognitive conflict is considered as confirmatory relative to the knowledge processing), and *repetition of traditional teaching* (that avoids cognitive conflicts and concentrate on the automatization of appropriate thought processes). These teaching conditions were reduced to sequencing considerations, as *classical* model participants were first subjected to a possible cognitive conflict induced by a first video, followed by another video about the targeted conceptions; *prevalence* model participants were subjected to the same videos but in the opposite chronological order; and *repetition* condition participants watched the “traditional teaching” video twice. Differences in accuracy and response times between our computerized and validated “sink/float” pretest and retest were analyzed. Results and interpretations suggest that (1) cognitive conflicts are useful in teaching sequences that aim at producing conceptual changes, but that (2) these conflicts should not necessarily be triggered at the very beginning of teaching sequences, or instigator manner, and therefore that (3) the prevalence model, using cognitive conflict in a confirmatory way, might be the best one to promote conceptual changes in real-life school science teaching settings.

The results of this experimental research are used to propose prescriptions of interest for science education, but also for the teaching of other subjects as well as for many researchers interested in conceptual change and particularly in cognitive conflicts.

Keywords: Science education, elementary level, conceptual change, cognitive conflict, initial conceptions, misconceptions, buoyancy.

INTRODUCTION

Intéressé par la neuroscience et les meilleures façons d'aider les élèves à atteindre un apprentissage profond et durable en Histoire, l'objectif de ma maîtrise consistait au départ à aborder le sujet du changement conceptuel par une recherche théorique. Une fois la recherche exploratoire terminée, il en fut cependant tout autrement, puisque nos découvertes nous ont amenés à prendre note de lacunes au niveau du processus de changement conceptuel le plus répandu, à savoir le conflit cognitif. Cela guida finalement notre choix sur la recherche de type expérimentale en sciences, puisque le degré d'avancement des recherches de ce type en didactique des sciences s'avère plus élevé qu'en didactique de l'histoire, où l'on en est encore au stade des balbutiements (Limón, 2001). Par ailleurs, selon Bêty (2009), du fait de la quotidienneté des phénomènes scientifiques, personne n'est tout à fait ignorant en sciences, chacun ayant des conceptions. Cela en fait un terrain de prédilection dans le cadre de la présente étude.

Dans ce mémoire, le premier chapitre expose la problématique de la recherche en fournissant un aperçu de la situation à l'étude. Ce chapitre met en place le problème de recherche, soit le rôle du conflit cognitif dans l'apprentissage des sciences, et justifie les pertinences scientifiques et sociales de l'étude. Il se termine par l'énoncé de la question de recherche. Le deuxième chapitre, le cadre théorique, présente les bases théoriques de la recherche et permet d'en définir les trois principaux concepts, c'est-à-dire les conceptions initiales, le changement conceptuel et le conflit cognitif. Ce chapitre présente également certains modèles, dont le modèle de prévalence, et certaines recherches en lien avec l'objet de la présente étude et se termine par l'énoncé des hypothèses de recherche. Le troisième chapitre détaille pour sa part le cadre méthodologique en précisant les caractéristiques des sujets de l'étude, les

instruments de mesure sélectionnés ainsi que les modalités d'analyse des données et les considérations éthiques à prendre en compte. Le quatrième chapitre fera état des résultats obtenus à la suite de l'analyse des données, ainsi que de l'interprétation de ces résultats de façon à répondre aux objectifs ainsi qu'à la question de recherche. Finalement, la conclusion aborde les retombées pédagogiques possibles de cette étude au niveau de la recherche, de l'apprentissage et de l'enseignement, puis elle résume certaines questions non résolues et propose quelques pistes de réflexion.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

Ce premier chapitre expose la problématique de notre recherche. En premier lieu, un *aperçu général des problèmes concernant l'enseignement des sciences* sera énoncé, suivi d'une présentation du lien entre la notion de *changement conceptuel* et l'enseignement. Suit la démonstration du *rôle du conflit cognitif* au sein du modèle classique de changement conceptuel et les raisons pour lesquelles cette stratégie d'enseignement est *remise en question*. Puis, un lien sera établi avec des recherches qui portent sur les variables influençant le succès ou l'échec de cette stratégie, tels le *moment où le conflit cognitif est administré* et la fonction qu'il joue. Nous présenterons également un modèle alternatif de changement conceptuel, le modèle de prévalence, qui semble répondre à certaines critiques adressées au modèle classique. Enfin, la *question et les objectifs de recherche* concluent ce chapitre, suivi d'une brève justification quant à la *pertinence de mener cette étude*.

1.1 Aperçu général des problèmes de l'éducation scientifique

L'éducation scientifique n'atteint pas toujours les cibles qu'elle s'est fixées, c'est-à-dire de faire évoluer les conceptions des élèves et surtout de leur faire développer une compréhension profonde (*deep understanding*) des conceptions scientifiques enseignées, tout en les intéressant. En effet, selon de multiples auteurs, l'éducation scientifique et l'enseignement des sciences traversent une période de remise en question. Dans ces conditions, la question de la réforme de l'enseignement

scientifique se pose dans de nombreux pays afin de revaloriser cet enseignement (Osborne et Dillon, 2008).

Cette situation problématique persiste au moins depuis le début des années 1980, tel que relevé par plusieurs organisations internationales (OCDE, 2007, 2009; UNESCO, 1993, 2010), scientifiques (AAAS, 1990; CSE, 1990; CST, 2002), ainsi que par les chercheurs (Fourez, 1994; Giordan, Henriques et Bang, 1989; Hasni et Lebeaume, 2010). De fait, les récentes percées au niveau de la recherche exposent les bienfaits au niveau de la performance et de la motivation des élèves de méthodes constructivistes centrées sur l'interaction entre les apprenants, les discussions de groupe et le changement conceptuel (Brophy et Good, 1986; Schroeder et coll., 2007; Tsai et Wen, 2005; Vygotsky, 1978). Toutefois, dans les classes au Québec, les approches transmissives, tel l'enseignement magistral, demeurent encore privilégiées, même si la situation tend à s'améliorer depuis l'instauration de la réforme (CST, 2002; Minier et Gauthier, 2006). Ajoutons à cela le fait qu'il existe un écart entre les résultats des recherches en didactique des sciences et ce qui se fait en classe au Québec (Bêty, 2009). Ce faisant, les principales lacunes de l'enseignement scientifique se trouvent sur le plan de la formation des enseignants, particulièrement au primaire, ainsi qu'au niveau de l'intérêt au secondaire (OCDE, 2006). Également, tant au niveau des études primaires que secondaires, la compréhension profonde des différents concepts scientifiques s'avère fréquemment incomplète (Lee et Byun, 2012). Même si les causes de cette incompréhension apparaissent multifactorielles (Boilevin et Ravanis, 2007), l'intention de cette recherche consiste à s'intéresser uniquement aux causes qui peuvent être liées à l'enseignement des sciences.

Pourtant, les recherches en éducation scientifiques regorgent de connaissances susceptibles d'améliorer la pratique enseignante (Limón, 2001). Une très importante part de ces recherches porte sur le « changement conceptuel ». Selon l'analyse de contenu de Tsai et Wen (2005), de 1998 à 2002, 24,7 % des articles des revues

Science Education, Journal of Research in Science Teaching et *International Journal of Science Education* portent sur le sujet *Learning – Students’ Conceptions and Conceptual Change*. Cela démontre l’intérêt important accordé à ce champ dans le milieu de la recherche en éducation. En tenant compte de cette statistique, Tsai et Wen (2005) mettent ensuite en exergue l’importance pour les enseignants de tenir compte des *conceptions initiales* des élèves dans leur enseignement, c’est-à-dire les représentations qui leur permettent de comprendre le monde au quotidien (Astolfi, Peterfalvi et Vérin, 2006). L’objectif de l’enseignant consiste alors à faire évoluer les conceptions initiales des élèves, souvent erronées (*misconceptions*), afin qu’elles correspondent aux savoirs et concepts scientifiques abordés en classe (Thouin, 2001). Cette perspective de l’apprentissage se nomme *changement conceptuel*.

1.2 Le changement conceptuel en tant que modèle d’apprentissage des sciences

Le changement conceptuel est aujourd’hui étudié dans les différentes didactiques disciplinaires, ainsi que dans l’histoire et la philosophie des sciences. Selon Vosniadou (2008), l’étude du changement conceptuel a des implications sur la manière de concevoir l’instruction. Dorénavant, il s’agit pour les chercheurs de déterminer les modes d’instruction qui vont favoriser et permettre des changements conceptuels.

Par exemple, les élèves du primaire entretiennent souvent la conception initiale selon laquelle les papillons sont les seuls insectes à subir une métamorphose (Thouin, 1998 : 49). Pourtant, comme l’explique Patrick Roberge de l’Insectarium de Montréal, plus de 85 % des espèces d’insectes subissent une métamorphose complète : les mouches, les papillons, les phryganes, les abeilles, les fourmis, les coléoptères, etc. Bref, dans cet exemple, l’objectif de l’enseignant consiste à amener le changement conceptuel

en désamorçant la conception initiale des élèves quant au concept de métamorphose pour les mener à une conception qui se rapproche de celle partagée par la communauté scientifique.

Selon Limón (2001), les élèves ont tendance à accorder plus d'attention à une leçon et une expérience si tout ne se passe pas comme ils s'attendent. Selon cette idée, les « événements discordants¹ » engendrent la curiosité et stimulent un besoin de savoir, ce qui fait que les élèves souhaitent alors vraisemblablement davantage étudier les nouveaux concepts scientifiques qui leur sont présentés.

Ce faisant, en découvrant que ces nouvelles conceptions sont incompatibles avec leurs conceptions initiales, ils seraient susceptibles d'abandonner leurs préjugés et d'être désormais en meilleure position pour développer une compréhension profonde des conceptions scientifiques enseignées. Dans ces conditions, il semble que donner un sens à des événements discordants favorise un changement conceptuel.

Cependant, plusieurs études révèlent que ce n'est pas nécessairement le cas et qu'une proportion importante d'élèves ayant pourtant expérimenté un événement discordant n'atteint pas le stade de compréhension profonde (Baser, 2006; Duit et coll., 2008; Kang et coll., 2010; Lee et Byun, 2012; Limón, 2001; Schlaghecken et Martini, 2012; Scott et coll., 1991). D'après Limón (2001), cela dépend à la fois de la stratégie didactique utilisée en classe afin d'engendrer le changement conceptuel et de l'intérêt des élèves pour le concept enseigné. Pour réussir les changements conceptuels, la stratégie didactique la plus utilisée en didactique des sciences est le *conflit cognitif* (Vosniadou, 2008).

¹ Traduction libre de “ *discrepant events* ”. Kang et coll., 2004, p. 383.

1.3 Le conflit cognitif en tant que stratégie favorisant le changement conceptuel

Le concept de conflit cognitif retrace son origine au sein de la théorie de Piaget sur l'*accommodation* (Kang et coll., 2010). En effet, pour Piaget, l'apprentissage par accommodation est uniquement possible s'il existe un déséquilibre préliminaire. Cela donne à penser que l'appropriation de nouvelles connaissances, particulièrement celles qui semblent contre-intuitives, s'avère un processus complexe nécessitant une transformation des connaissances préalables des apprenants. De plus, il semble que ce processus doive être déclenché par la perception initiale d'un écart entre la conception initiale et la conception scientifique. Par conséquent, de nombreux défenseurs des théories piagésiennes soutiennent que les conflits cognitifs s'avèrent indispensables à l'apprentissage, puisqu'ils placent l'élève dans une situation de déséquilibre et de remise en question de ses conceptions (Chan, Burtis et Bereiter, 1997; Kang et coll., 2010).

Thouin (1998) explique que le conflit cognitif survient généralement chez un élève lorsqu'il y a une incompatibilité ou une inconsistance entre ses conceptions et ses observations. Selon lui, un conflit cognitif conduit souvent l'élève à une amélioration de ses explications, puisqu'il naît d'une confrontation entre sa conception initiale de certains phénomènes et l'analyse des résultats de sa recherche. Nous pouvons illustrer cette confrontation grâce à un événement discordant parfois utilisé lors de démonstrations en classe de physique : l'enseignant demande à ses élèves d'identifier la bille qui dans le vide tombera le plus vite entre une bille de plomb et une bille de polystyrène. Puisque la majorité des élèves répondront sans hésiter que c'est la bille de plomb qui tombera plus vite, alors qu'en réalité la vitesse de chute libre d'un corps ne dépend pas de sa masse. L'événement est par conséquent *discordant*². Ceci

² Bien entendu, ceci est valable en négligeant la friction de l'air ou poussée d'Archimède, d'où la comparaison entre des objets de même forme.

entraîne dès lors un conflit cognitif chez l'élève alors étonné. Nous définirons plus en détail ce qu'est le conflit cognitif et ses effets sur l'apprenant dans le cadre théorique (voir 2.3 Le conflit cognitif).

Toutefois, depuis plusieurs années, de nombreux chercheurs en didactique des sciences se questionnent sur l'efficacité du conflit cognitif (von Aufschnaiter et Rogge, 2009; Baser, 2006; Fugelsang et Dunbar, 2005; Hulleman et Harackiewicz, 2009; Kang et coll., 2004, 2010; Lee et Byun, 2011, 2012; Limón, 2001; Masson, 2005; Potvin, 1998). Certains, tel diSessa (2008), vont plus loin et proposent d'autres stratégies que celle du conflit cognitif puisqu'ils estiment superficiel d'amener les élèves à changer de conception en les confrontant avec des évidences et des démonstrations ou en argumentant avec eux.

Dans le cas de la présente recherche, nous allons nous pencher sur les *variables* influençant l'efficacité du conflit cognitif selon les partisans et les opposants de cette stratégie éducative.

1.4 La remise en question du conflit cognitif

Comme nous l'avions mentionné précédemment, malgré la diversité des stratégies qui font la promotion de l'utilisation du conflit cognitif, des doutes sont apparus quant à son efficacité. Depuis qu'il a été utilisé pour la première fois, le conflit cognitif, tel qu'il est évoqué dans les modèles classiques d'enseignement, a été fortement critiqué.

En effet, certains chercheurs mettent en doute son utilité, particulièrement en ce qui a trait à l'atteinte d'un changement conceptuel profond, puisque les élèves développent

souvent une compréhension incorrecte des concepts enseignés par l'entremise d'un conflit cognitif (Limon, 2001, p. 363). Baser (2006) souligne que : « Les élèves refusent souvent d'accepter des idées en conflit direct avec leurs conceptions alternatives [...] »³. » En outre, plusieurs autres savants soulignent également le manque de preuves empiriques démontrant les effets bénéfiques d'un conflit cognitif par rapport au changement conceptuel (Duit et coll., 2008; Kang et coll., 2004; Lee et Byun, 2012; Limón, 2001; Ohlsson, 2009; Schlaghecken et Martini, 2012; Scott et coll., 1991; et bien d'autres). Ainsi, plus de recherches s'avèrent nécessaires pour vérifier à la fois la pertinence et la meilleure façon d'utiliser la technique pédagogique du conflit cognitif.

Vosniadou (1999) souligne également que les élèves sont souvent incapables de vivre un conflit cognitif signifiant ou de devenir insatisfaits de leurs idées préconçues, même lorsque confrontés à des situations impliquant un conflit manifeste. Par ailleurs, même si le conflit est exposé clairement aux élèves, il n'y a aucune garantie que les apprenants acceptent son existence ou son importance (Scott Asoko et Driver, 1992). En effet, selon Murray (1983), même si un événement discordant est présenté aux élèves, il peut être soit tout simplement non perçu, soit toléré ou expliqué comme étant un paradoxe, un mystère, ou de la magie, soit considéré comme un événement indépendant, ou soit résolu prématurément ou trivialement par le rejet d'éléments contradictoires. Dans tous les cas, il apparaît évident que le simple fait de présenter des événements discordants aux élèves ne conduit pas systématiquement à un conflit cognitif (Limón, 2001; Lin, 2007; Tirosh, Stavy, et Cohen, 1998).

Compte tenu de ce qui précède, Lee et coll. synthétisent avec justesse la problématique entourant l'utilisation du conflit cognitif :

³ Traduction libre de : "Students often refuse to accept ideas in direct conflict with their alternative concepts [...]" (Baser, 2006, p. 99).

Le conflit cognitif est une expérience fréquente des élèves dans leur apprentissage à l'intérieur et à l'extérieur de la classe. Cependant, comme indiqué précédemment, le conflit cognitif a à la fois un potentiel constructif (significatif) et un potentiel destructeur. Ainsi, des recherches sur les relations entre le conflit cognitif et les variables qui pourraient affecter le conflit cognitif sont significativement nécessaires.⁴ (Lee et coll., 2003, p. 600)

Ainsi, le conflit cognitif pourrait à la fois avoir des effets positifs et négatifs, tout dépendant de la façon dont il est administré aux élèves.

Il semble donc que si un enseignant ne tient pas compte de ces composantes affectives, il y a de fortes chances que le conflit cognitif ne survienne pas ou qu'il soit incomplet et non significatif. Lee et coll. évoquent d'ailleurs ces possibilités :

Un conflit cognitif constructif peut être stimulé lorsqu'un élève reconnaît clairement une anomalie, qu'il éprouve un vif intérêt et/ou une anxiété appropriée, et qu'il réévalue profondément la situation de conflit cognitif. Toutefois, si un élève ne reconnaît pas l'anomalie, l'ignore ou éprouve un sentiment négatif (comme de la frustration ou s'il se sent menacé) au lieu d'éprouver de l'intérêt, ou s'il n'aime pas être dans un état de conflit, le conflit cognitif dans cette situation pourrait être une expérience négligeable ou même destructrice.⁵ (Lee et coll., 2003, p. 590)

Ces chercheurs (Lee et coll.) en sont venus entre autres à la conclusion que parmi tous les facteurs susceptibles d'influencer le succès du conflit cognitif, celui qui porte

⁴ Traduction libre de : "Cognitive conflict is a frequent experience of students in their learning inside and outside of class. However, as discussed previously, cognitive conflict has both constructive (meaningful) and destructive potential. Thus, research about the relations between cognitive conflict and the variables that might affect cognitive conflict is significantly needed." (Lee et coll., 2003, p. 600)

⁵ Traduction libre de : "Constructive cognitive conflict can be aroused when a student recognizes an anomaly clearly, experiences strong interest and/or appropriate anxiety, and reappraises the cognitive conflict situation deeply. However, if a student does not recognize the anomaly, ignores it, or experiences a negative feeling (such as frustration or feeling threatened) instead of interest, or if he does not like to be in a conflict state, the cognitive conflict in this situation might be a negligible experience or even a destructive one." (Lee et coll., 2003, p. 590)

sur le *moment* où le conflit est vécu semble méconnu, vraisemblablement important et nécessite de plus amples recherches.

1.5 Le moment où le conflit cognitif est administré

L'un des aspects fondamentaux qui caractérisent le conflit cognitif dans les modèles classiques de changement conceptuel est l'idée selon laquelle il doit se produire selon une séquence bien précise. Cette séquence pédagogique se résume grossièrement à l'enchaînement *conflit cognitif-avant/nouvelles connaissances-après*. En somme, les conceptions initiales des élèves doivent subir une transformation afin d'être « transformées » en conceptions scientifiques.

Dans ce modèle, le conflit cognitif est considéré comme un état psychologique généré lorsqu'un apprenant est confronté à une situation anormale. Dans cet état, l'apprenant (1) reconnaît une situation anormale, (2) exprime son intérêt et/ou de l'anxiété dans la résolution du conflit cognitif, et (3) s'engage dans une réévaluation cognitive de la situation pour résoudre ce conflit.⁶ (Lee et Byun, 2012, p. 945)

Toutefois, cette séquence classique de changement conceptuel ne fait pas l'unanimité. Comme mentionné précédemment, peu de recherches se sont intéressées à la question du moment optimal où déclencher les conflits cognitifs. Cependant, Scott, Asoko et Driver (1992) ont identifié quatre types de stratégies en ce qui a trait au rôle et à la meilleure façon de produire des conflits cognitifs.

⁶ Traduction libre de : "In this model, cognitive conflict is considered to be a psychological state generated when a learner is confronted with an anomalous situation. In this state, the learner (1) recognizes an anomalous situation, (2) expresses interest and/or anxiety in resolving the cognitive conflict, and (3) engages in a cognitive reappraisal of the situation to resolve this conflict." (Lee et Byun, 2012, p. 945)

- 1) Les stratégies où le conflit est nécessaire à l'apprentissage et doit être reconnu par l'élève *au début* de l'enseignement;
- 2) Les stratégies qui introduisent d'abord le point de vue alternatif et mettent le conflit en évidence *plus tard*.
- 3) Les stratégies où le conflit peut se produire, mais n'est pas considéré comme étant essentiel pour promouvoir l'apprentissage.
- 4) Les stratégies visant à éviter la prise de conscience du conflit par l'élève.

Deux des stratégies d'enseignement en revue dans cet article attirent particulièrement notre attention, soit les deux premières s'intéressant au moment où le conflit cognitif est administré. Ainsi, lorsque le conflit doit être reconnu *au début* de l'enseignement, ce dernier joue un rôle que l'on qualifiera ici d'*instigateur* par rapport au changement conceptuel. À l'inverse, lorsque le conflit est mis en évidence *plus tard*, il incarne un rôle que l'on qualifiera ici de *confirmatoire* relativement au changement conceptuel. Nous présenterons des modèles d'enseignement utilisant le conflit de ces deux manières dans le cadre théorique de la présente recherche : soit les modèles *classiques* (instigateur) de changement conceptuel et un nouveau modèle, celui de *prévalence* (confirmatoire) (voir Chapitre II).

En somme, il apparaît que certains chercheurs demeurent divisés en ce qui a trait au degré d'efficacité du conflit cognitif, au moment de le faire vivre, ainsi qu'à sa capacité de produire un changement conceptuel profond et durable. À ce sujet, Fugelsang et Dunbar (2005) soulignent qu'il est primordial de tenir compte du *moment* et de la *façon* selon laquelle le conflit cognitif est amené, puisque ces deux variables ont une influence sur le succès des stratégies d'enseignement utilisant le conflit cognitif. De fait, puisque le cerveau traite les informations discordantes comme des erreurs, selon les résultats de leur étude, il s'avère essentiel de vérifier ces variables de façon plus précise (Fugelsang et Dunbar, 2005). Par conséquent, dans le cas de la présente recherche, nous allons nous pencher sur les variables influençant

l'efficacité du conflit cognitif selon les partisans et les opposants de cette stratégie éducative.

1.6 La question de recherche

Considérant :

- ❖ que l'éducation scientifique n'atteint pas les cibles qu'elle s'est fixées;
- ❖ que les jeunes éprouvent de la difficulté à développer une compréhension profonde en sciences;
- ❖ que le changement conceptuel est souvent essentiel pour parvenir à une compréhension profonde, mais qu'il s'avère souvent ignoré des enseignants;
- ❖ que le conflit cognitif semble mis en doute quant à son efficacité et peut à la fois produire des effets positifs et négatifs, tout dépendant de la façon dont il est administré aux élèves;
- ❖ que parmi tous les facteurs susceptibles d'influencer le succès du conflit cognitif, celui qui porte sur le moment où le conflit est vécu apparaît méconnu, vraisemblablement important et nécessite de plus amples recherches; et
- ❖ que le conflit cognitif peut jouer un rôle instigateur ou confirmatoire en tant que stratégie didactique.

La question centrale de cette recherche est la suivante :

- ❖ *Afin de favoriser le changement conceptuel, est-ce qu'un conflit cognitif devrait être provoqué avant ou après la présentation de nouvelles connaissances scientifiques aux élèves?*

1.7 Pertinence de la recherche

Cette recherche propose d'apporter des connaissances nouvelles sur la démarche d'enseignement à privilégier en sciences afin de favoriser le changement conceptuel et l'apprentissage. Elle s'ingénie à mesurer à quel moment la stratégie du conflit cognitif peut être utilisée de la façon la plus efficace possible dans un contexte d'enseignement réel. De plus, l'interprétation des résultats de la présente étude permettra de discuter de la valeur relative de différents modèles de changement conceptuel. En outre, sur le plan social, les résultats d'une telle investigation auront une incidence sur la façon dont les enseignants planifient leurs leçons afin de maximiser les changements conceptuels chez leurs élèves.

CHAPITRE II

CADRE THÉORIQUE

Ce chapitre présente les principaux concepts et les principales recherches qui se rattachent à notre projet de recherche. Dans un premier temps, les concepts de *conceptions initiales* et de *changement conceptuel* seront développés. Suivront la présentation et la discussion de quelques *modèles de changement conceptuel* tentant d'expliquer, de comprendre et de modifier les conceptions initiales des élèves en science. Nous spécifierons ensuite les modèles choisis pour notre étude, soit le modèle *classique* et le modèle de *prévalence*. Puis, la stratégie éducative du *conflit cognitif*, ainsi que les *rôles instigateur ou confirmatoire* qu'il peut remplir afin d'aider les apprenants à surmonter leurs conceptions erronées seront décrits. Après, le concept *d'événement discordant* sera détaillé. En dernier lieu, les *hypothèses de recherche* découlant de ce cadre théorique seront formulées et opérationnalisées.

2.1 Les conceptions initiales

Les chercheurs et auteurs désignent de façons différentes les conceptions initiales conformément aux modèles de changement conceptuel qu'ils défendent : conceptions alternatives (Novak et coll., 1994), conceptions initiales (Giordan et Martinand, 1988), conceptions préscientifiques (Laroche et Désautels, 1991), conceptions primitives (Potvin, 1998), préconceptions (Nussbaum et Novick, 1982), *misconceptions* (Guzzetti et coll., 1993), etc. Dans ce mémoire, l'expression conception initiale sera privilégiée, puisqu'elle n'a pas nécessairement une connotation négative.

Généralement, en didactique, une conception initiale représente « les systèmes de connaissances qu'un sujet mobilise relativement à une question ou à une thématique, que celle-ci ait fait l'objet d'un enseignement ou pas ». (Reuter et coll., 2007, p. 97)

Les conceptions initiales fréquentes des apprenants en sciences interfèrent souvent avec les conceptions scientifiques à enseigner. En effet, comme mentionné dans la problématique (voir Chapitre I), l'élève n'est pas une « table rase » (« *tabula rasa* ») lorsqu'il se présente en classe (Limón, 2001). C'est-à-dire que « chacun cherche à expliquer le monde qui l'entoure en développant des idées et des raisonnements à partir de ce qu'il sait ou croit savoir ». (Reuter et coll., 2007, p. 197)

Ainsi, comme le spécifient Joshua et Dupin (1999), Limón (2001), ainsi que Reuter et coll. (2007), les conceptions initiales correspondent aux représentations que les élèves peuvent entretenir au préalable, avant l'enseignement d'un concept scientifique. Ces représentations s'avèrent fréquemment naïves et plus ou moins justes au regard des concepts scientifiques socialement reconnus par la communauté scientifique (Bêty, 2009; Potvin, 1998) :

Les travaux de recherche en didactique des sciences et des mathématiques ont amplement montré ces dernières années que certaines réponses données par des élèves à des problèmes d'ordre scientifique pouvaient se révéler fort éloignées des modèles canoniques correspondants. Le modèle scientifique ne se situe que rarement dans le prolongement du « sens commun ». (Joshua et Dupin, 1999, p. 121)

Conséquemment, les chercheurs en didactique des sciences se sont intéressés aux conceptions initiales des apprenants produisant des biais de leur raisonnement scientifique. Parcourir la littérature des soixante dernières années permet de réaliser qu'elles sont un enjeu crucial dans l'enseignement des sciences. Effectivement, de nombreuses études (Astolfi, 1997; Giordan, Henriques et Bang, 1989; Joshua et

Dupin, 1999; Lee et Byun, 2011; Nussbaum, 1989; Piaget, 1974; Posner et coll., 1982; Vosniadou et Brewer, 1992; etc.) attestent que les élèves entretiennent de multiples conceptions initiales divergeant des conceptions scientifiques à enseigner préalablement à leurs premières leçons de sciences. « Ces conceptions initiales des élèves, fréquentes et persistantes (avant, durant et après l'enseignement), constituent de véritables obstacles à l'apprentissage des sciences. » (Lafortune, 2013, p. 14)

Les conceptions initiales tireraient leur origine d'une activité de construction mentale du réel ayant un processus de développement individuel et social (Giordan et de Vecchi, 1987). Selon ces derniers, elles seraient influencées par l'expérience personnelle de l'élève possédant de toute évidence une logique et une cohérence au moins partielles qui expliquent pourquoi les élèves tiennent fermement à — et s'accommodent parfois même avec acharnement à — leurs conceptions initiales. Ces conceptions initiales sont nécessaires, selon Potvin (2011), puisque l'être humain se condamnerait à l'immobilisme s'il devait attendre de colliger des certitudes infaillibles avant d'agir et de se forger une pensée.

Selon Limón (2001) et Thouin (1998), l'un des défis des futures recherches en éducation consiste à répertorier et définir plus clairement les conceptions initiales des élèves en sciences, mais aussi au sein d'autres disciplines, plus éloignées des sciences de la nature. Ce défi demeure contemporain.

En ce sens, selon Limón (2001) et les tenants du courant constructiviste, afin de promouvoir un apprentissage significatif, les élèves doivent relier les nouvelles connaissances à acquérir avec les connaissances et les conceptions initiales qu'ils possèdent déjà :

Selon notre point de vue, les connaissances préalables sont un aspect clé de la mise en œuvre réussie de la stratégie du conflit cognitif dans la salle de classe.

Si nous ne connaissons pas profondément les connaissances préalables des élèves et comment les activer, et que nous ne sommes pas en mesure de développer des outils d'évaluation efficaces, comment pourrions-nous mesurer et définir le changement conceptuel si le point de départ « A » demeure un grand inconnu, et comment pourrions-nous induire un conflit significatif qui semble être une première étape nécessaire dans le processus de changement conceptuel?⁷ (Limón, 2001, p. 367)

Ainsi, en ce qui a trait à l'enseignement, si l'enseignant ignore les conceptions initiales que détiennent ses élèves, celles-ci peuvent empêcher l'apprentissage profond et durable des concepts visés (Limón, 2001). De surcroît, lorsque l'élève tente de construire de nouveaux savoirs sur certaines fondations fautives, il a tendance à simplement mémoriser les faits sans être capable de comprendre et d'expliquer les concepts sous-jacents (Committee on Undergraduate Science Education, 1997). D'autre part, plusieurs chercheurs (Limón, 2001; Potvin, 2011) mettent en évidence le caractère résistant, voire monolithique, des conceptions, tel qu'il est perçu par la plupart des chercheurs.

La prise en compte des connaissances préalables et des conceptions initiales des élèves par les enseignants est donc le point de départ du modèle d'apprentissage qui sera développé plus loin, soit le changement conceptuel. La présentation, ci-dessous, d'une notion où l'on retrouve des conceptions initiales permettra de donner un exemple pratique de conceptions initiales fréquentes.

⁷ Traduction libre de : "From our point of view, prior knowledge is a key aspect to implementing successfully the cognitive conflict strategy in the classroom. If we do not know deeply students' prior knowledge and how to activate it, and we are not able to develop efficient assessment tools, how could we measure and define conceptual change if the starting point "A" is still a big unknown, and how could we induce a meaningful conflict that seems to be a necessary first step for the conceptual change process?" (Limón, 2001, p. 367)

2.2 Conceptions initiales liées au concept de flottabilité

Comme relevé précédemment, Limón (2001) a pris acte du fait qu'on ne connaît pas toujours bien la nature des conceptions initiales des élèves et que cette méconnaissance expliquerait en partie les résultats controversés par rapport à l'efficacité de la stratégie du conflit cognitif. Selon Thouin (1998), chaque être humain ressent le désir de comprendre et d'expliquer le monde qui l'entoure :

« Les objets légers flottent et les objets lourds coulent. » « Le ciel est bleu à cause du reflet des océans ». « Le courant électrique est un liquide qui circule dans les fils ». [...] Voilà autant de conceptions fréquentes qui ne correspondent pas aux lois et aux théories de la science actuelle, mais qui permettent néanmoins d'expliquer, de façon plus ou moins adéquate, certains aspects de l'univers matériel ou de l'univers vivant. (Thouin, 1998, p. 48)

C'est pourquoi nous avons choisi de traiter d'un concept déjà bien documenté dans la littérature scientifique (Potvin, 2011; Thouin, 1998) et alimentant de nombreuses conceptions initiales, soit la flottabilité. Différents facteurs peuvent influencer la flottabilité d'un objet. Conséquemment, selon leurs conceptions, les élèves peuvent croire que la masse, le volume, le matériau, la structure ou la forme vont influencer la flottabilité (Chidsey et Henriques, 1996). Le Tableau 2.1, adapté de Chidsey et Henriques (1996), synthétise les principales conceptions initiales des enfants quant à la flottabilité.

Tableau 2.1
 Conceptions initiales des enfants vis-à-vis de la flottabilité
 (adapté de Chidsey et Henriques, 1996)

Masse	Les objets lourds coulent. La plupart des objets lourds coulent. L'objet doit être plus lourd que l'eau pour couler. Seule la masse détermine si un objet flotte ou coule.
Grosueur	La taille n'a rien à voir avec la flottabilité. L'eau peut soutenir de petits objets.
Matériel	Tous les types de bois flottent. Tous les types de métaux coulent.
Structure	L'air et les trous dans l'objet le font flotter. L'eau qui va dans les trous fait couler.
Forme	Seule la forme détermine si un objet flotte ou coule.

C'est ainsi qu'une question simple telle : « Si on les met dans l'eau, laquelle de ces boules [matériel : bois, mousse de polystyrène et plomb; tailles : petites, moyennes et grosses] coulera davantage? », posée dans le cadre de l'étude de Lafortune (2013), fait souvent émerger certaines conceptions initiales. Pourtant, contrairement à la conception initiale la plus répandue, qui concerne la masse, ce n'est pas toujours l'objet le plus lourd qui coule et l'on peut le vérifier en pesant des objets de masses différentes avec des élèves lors d'une expérience en classe (Lafortune, 2013; Potvin, 2011; Thouin, 1998). De fait, en ce qui a trait à la flottabilité d'un objet, selon l'énoncé du *principe d'Archimède*, « Tout corps plongé dans un liquide subit une poussée verticale, dirigée de bas en haut, égale au poids du fluide déplacé et appliquée au centre de gravité de ce fluide déplacé. » (Le Robert encyclopédique des noms propres, 2009, p. 119)

En somme, les conceptions initiales des élèves concernant la flottabilité correspondent rarement, du moins au début, à la conception scientifique impliquant une certaine maîtrise du concept de masse volumique. Cet exemple permet de mettre en lumière et d'illustrer un modèle d'apprentissage qui sera présenté ci-après, soit le

changement conceptuel, visant à *restructurer* (Limón, 2001) les conceptions initiales en conceptions scientifiques.

2.3 Le changement conceptuel

Dans son article *A History of Conceptual Change Research*, Andrea diSessa (2006) soutient que le champ de recherche actuel développant le modèle d'apprentissage du changement conceptuel repose sur une origine bicéphale, soit l'influence européenne piagétienne et l'influence américaine kuhnienne.

Il fait consensus que le courant constructiviste développé au sein des travaux du psychologue et philosophe suisse Jean Piaget a ouvert la voie à l'étude de la transformation des conceptions initiales, puisque selon cette école de pensée les nouveaux savoirs sont construits à partir des connaissances et conceptions antérieures de l'apprenant (diSessa, 2006; Legendre, 2005; Guzzetti et coll., 1993; Posner et coll., 1982). Conséquemment, les recherches contemporaines sur le changement conceptuel s'inscrivent au cœur de l'épistémologie constructiviste de l'apprentissage (Legendre, 2002), puisqu'elles sont en continuité avec l'orientation initiée par cette théorie de l'apprentissage. Effectivement, le courant constructiviste place l'élève au cœur de ses apprentissages, puisqu'il reconstruit ses savoirs en *s'accommodant* à l'influence de son environnement. Le concept d'*accommodation* piagétien suggère qu'apprendre des concepts scientifiques n'est pas toujours le résultat d'une accumulation de connaissances ou d'informations. En effet, si les savoirs préalables peuvent servir de base afin d'atteindre une nouvelle compréhension, ils peuvent aussi interférer avec l'apprentissage puisqu'ils contredisent occasionnellement les savoirs scientifiques. Dans de tels cas, selon P. Hewson et Hewson (1984), les conceptions initiales des apprenants peuvent être étonnamment résistantes au changement. De plus, Piaget met

au point le concept novateur de *déséquilibre* des structures cognitives survenant lors d'un conflit entre des niveaux de représentation (un conflit cognitif) et provoquant une *équibration* (un type de changement conceptuel) (Astolfi et coll., 1997). En effet, « Piaget [...] voyait l'équibration comme un processus alimenté par le conflit cognitif »⁸. Cette conception de l'apprentissage s'oppose aux conceptions plus transmissives, encyclopédiques ou cumulatives de l'apprentissage. De sorte que l'*accommodation* s'avère non seulement centrale au constructivisme, mais encore elle représente l'un des postulats de base du modèle du changement conceptuel classique en prônant la mobilisation des bonnes conceptions dans les bons contextes plutôt que l'accumulation d'une somme de connaissances, comme dans l'enseignement dit « traditionnel » (Posner et coll., 1982).

L'origine des recherches sur le changement conceptuel tire également ses sources des travaux du philosophe et historien américain des sciences Thomas Kuhn. Le livre *La structure des révolutions scientifiques* (1983) explique la façon dont se produisent une crise et un changement de paradigme au sein d'une communauté scientifique afin de résoudre une accumulation d'*anomalies*. Étant donné que le phénomène des *révolutions scientifiques* décrit par Kuhn entraîne un changement de paradigme, des similitudes importantes peuvent être établies entre les théories kuhnniennes et le renversement des conceptions initiales des élèves lors de l'apprentissage.

De fait, selon diSessa (2006), c'est en s'inspirant à la fois de l'épistémologie des sciences de Kuhn et du constructivisme de Piaget, que l'un des principaux modèles de changement conceptuel, celui de Posner et coll. (1982), s'est développé. Selon ce modèle (décrit dans *La structure des révolutions scientifiques* de Kuhn [1983]), les élèves, tout comme les scientifiques maintiendraient leurs conceptions initiales à

⁸ Traduction libre de : "Piaget [...] viewed equilibration as a process fueled by cognitive conflict" (Lee et Yi, 2013, p. 602).

moins qu'ils aient de bonnes raisons de les abandonner (diSessa, 2006). Ce modèle sera expliqué plus en détail plus loin (voir 2.2.1.2 Le modèle de Posner, Strike, Hewson et Gertzog).

Il existe de nombreuses définitions du concept de changement conceptuel. Potvin (1998) l'inscrit en tant que *Processus* de changement dans le cycle général de l'évolution élaboré par Legendre (2005) (voir Figure 2.1). Il s'agit d'une « modification qui se produit dans la représentation et l'organisation de la connaissance chez un individu » (Legendre, 2005, p. 205). Cette définition générale suppose de façon implicite un changement sur le plan cognitif, puisque la conception initiale (*Situation actuelle*) se trouve restructurée (*Situation projetée*).

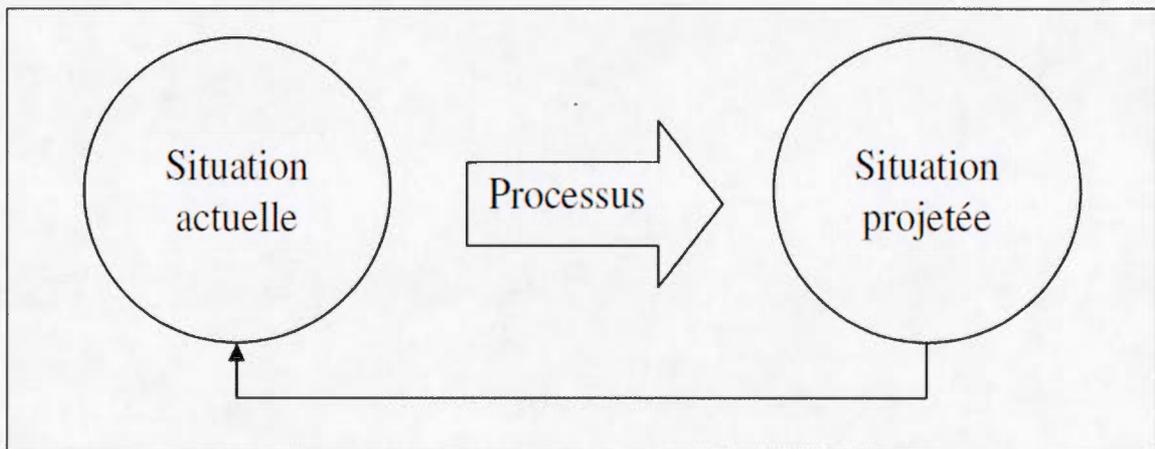


Figure 2.1 Le cycle général de l'évolution de Renald Legendre (adapté de Legendre, 2005)

En conséquence, le changement conceptuel (*Processus*) a comme but l'apprentissage des concepts scientifiques (*Situation projetée*) afin de modifier les conceptions initiales (*Situation actuelle*) dans l'intention de les rapprocher des conceptions partagées par la communauté des chercheurs d'un champ d'études donné. Pour un

enseignant, cela peut parfois s'avérer un défi de taille. Bêty (2009) le souligne d'ailleurs dans son étude :

Le changement conceptuel est un difficile processus d'apprentissage qui nécessite, comme les termes de ce concept l'indiquent, une transformation, une évolution, des conceptions des élèves. [...] diSessa et Sherin (1998, p. 1156) distinguent [...] deux types d'apprentissage : l'apprentissage qui nécessite un profond changement et l'apprentissage plus habituel. Comme eux, nous associons le changement conceptuel à un processus d'apprentissage qui nécessite, comme l'expression l'indique, un changement. (Bêty, 2009, pp. 25-26)

Nous partageons l'avis de Bêty.

Potvin approfondit plus spécifiquement la définition généraliste de Legendre en la reliant à l'apprentissage des sciences : « le changement conceptuel vise, par le biais de stratégies pédagogiques telles le conflit cognitif, à faire passer l'élève d'une conception scientifique à efficacité restreinte à une conception scientifique à efficacité élargie » (1998, cité par Legendre, 2005, p. 205). Il est intéressant de noter le lien établi entre changement conceptuel et conflit cognitif, puisqu'il sera développé un peu plus loin dans le cadre théorique (voir 2.3 Le conflit cognitif). De prime abord, il semble y avoir un consensus au sein de la communauté scientifique sur la primauté de la stratégie du conflit cognitif au sein des modèles classiques de changement conceptuel, même si certaines études récentes proposent d'autres alternatives (voir 2.2.1 Les principaux modèles de changement conceptuel).

À vrai dire, les définitions présentées précédemment sous-entendent que cette restructuration des conceptions initiales pour amener un changement conceptuel peut prendre différentes formes. Duit et Treagust (2003) l'illustrent bien : « Dans un sens général, le changement conceptuel désigne l'apprentissage de chemins à partir des conceptions des élèves précédant l'instruction jusqu'aux concepts scientifiques à

apprendre.⁹ » Il existe donc différents *chemins (pathways)* pouvant mener à un changement conceptuel.

Voici une brève présentation de ce qu'est la perspective générale d'apprentissage du changement conceptuel. Toutefois, afin de mieux expliquer et rendre compte de la difficulté des élèves à faire évoluer leurs conceptions initiales, plusieurs modèles de changement conceptuel ont été développés. De fait, étant donné le peu de clarté conceptuelle autour de la définition même d'une conception initiale, il est normal qu'ils conçoivent différemment la façon de les faire évoluer. Ainsi, malgré certaines origines théoriques communes, aucun modèle ne fait consensus à ce jour (diSessa, 2006). Un bref tour d'horizon des modèles de changement conceptuel les plus connus et cités sera présenté ci-dessous, ainsi qu'un modèle plus récent, celui de *prévalence*.

2.3.1 Les principaux modèles de changement conceptuel

Les modèles de changement conceptuel s'inscrivent généralement au sein de deux courants principaux, qui seront présentés ci-après.

Le courant le plus connu, considéré comme classique (Potvin, 2013), prend racine dans l'épistémologie des sciences et utilise principalement la stratégie du conflit cognitif. Trois des principaux modèles de cette école de pensée seront présentés : le modèle de Posner et coll. (1982), le modèle de Nussbaum et Novick (1982), ainsi que le modèle de Giordan et de Vechi (1987).

⁹ Traduction libre de : "In a general sense, conceptual change denotes learning pathways from students' preinstructional conceptions to the science concepts to be learned." (Duit et Treagust, 2003, p. 673)

Un deuxième courant plus récent, moins répandu, rejoint des chercheurs aux modèles de changement conceptuel différents, mais soutenant tous qu'il existe des raisons plus fondamentales pour l'émergence des conceptions initiales. Selon les adhérents de cette école de pensée, une variété d'éléments différents et indépendants, principalement des cadres naïfs (Vosniadou, 1994) ou intuitifs (diSessa, 1993), jouent un rôle à un moment du processus de changement conceptuel. Deux des principaux modèles de cette école de pensée seront présentés : le modèle de Vosniadou (1994) et le modèle de diSessa (1993). Nous présenterons également un nouveau modèle, celui de prévalence, qui propose lui aussi une solution de remplacement originale aux modèles classiques, particulièrement en ce qui a trait au moment d'utiliser le conflit cognitif (Potvin, 2013).

2.3.1.1 Le modèle de Posner, Strike, Hewson et Gertzog

Le modèle de Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982) s'inscrit au sein du courant américain tirant ses idées des travaux de Kuhn et Piaget, tel que souligné précédemment. Tout comme Kuhn, ils prennent appui sur l'idée qu'un changement de paradigme au sein de la communauté scientifique tirerait sa source d'une ou de plusieurs anomalies identifiées au sein d'un paradigme initial et déclenchant un déséquilibre ou un conflit.

Ce modèle est l'un des plus cités et il est omniprésent dans les études ayant pour objet de recherche le changement conceptuel. Posner et coll. soulignent au départ que les élèves conservent leurs conceptions initiales, sauf s'ils se retrouvent dans une situation où ils ont des raisons satisfaisantes de les abandonner.

Pour qu'un tel apprentissage se produise, Posner et coll. ont déterminé quatre conditions essentielles pour que le changement conceptuel se produise :

- A) Il doit y avoir une insatisfaction du point de vue de l'apprenant par rapport à la conception en place.
- B) La nouvelle conception doit être intelligible,
- C) La nouvelle conception doit apparaître a priori plausible,
- D) La nouvelle conception doit être fertile, c'est-à-dire qu'elle doit apporter de nouvelles explications à des problèmes et promettre une utilisation fructueuse.

Ces quatre conditions doivent être effectivement remplies pour qu'un remplacement des conceptions, aussi nommé accommodation, soit favorisé. Ce processus d'accommodation peut être vu comme une transformation des conceptions initiales. De plus, il est crucial, selon Posner et coll., de présenter des problèmes aux élèves qui insistent sur les anomalies présentes dans leurs conceptions initiales de manière à favoriser leur insatisfaction par rapport à celles-ci.

Bref, le modèle de Posner et ses collègues « est centré sur l'idée qu'il est absolument indispensable de remplir les quatre conditions : insatisfaction, intelligibilité, plausibilité, fécondité, pour espérer produire un changement conceptuel. » (Potvin, 2011, p. 148)

Ce modèle de changement conceptuel, qui prend l'« insatisfaction » comme condition initiale et essentielle à la transformation des connaissances, sera conséquemment considéré ici comme souscrivant à la catégorie des modèles « instigateurs ». Il envisage également l'apprenant comme un scientifique et l'apprentissage comme une activité fondée sur la raison et la logique. Ce point de vue a orienté la recherche et l'enseignement des sciences pendant longtemps en utilisant la stratégie éducative du conflit cognitif comme stratégie principale, puis il a été l'objet de nombreuses

critiques (Vosniadou, 2008). Ce modèle historique a été critiqué principalement sur trois aspects :

- A) Il ne prend pas en considération les aspects émotionnels, tels l'anxiété et l'intérêt, dans l'acquisition de concepts scientifiques (Lee et Kwon, 2001; Limón, 2001).
- B) Il ne prend pas en considération les effets du contexte d'apprentissage. La pertinence de l'analogie entre l'apprenant et le scientifique, ainsi qu'entre les communautés scientifiques et les communautés d'apprentissage scolaire, reste à démontrer (Duit et Treagust, 2003; Limón, 2001).
- C) Il repose sur l'idée que les élèves sont purement rationnels dans leur choix de conception. (Duit et Treagust, 2003; Limón, 2001).

D'ailleurs, Strike et Posner (1992) ont subséquemment reconnu ces faiblesses et ont rappelé que leur modèle présente un cadre de travail épistémologique plutôt qu'un modèle directement transposable à l'enseignement. Les modèles de Nussbaum et Novick (1982), de Giordan et de Vecchi (1987), ainsi que tous ceux utilisant principalement la stratégie de conflit cognitif essuient les mêmes critiques. Nous nous sommes inspirés principalement de ce modèle afin de créer l'une des trois séquences d'enseignement (*instigatrice*) utilisées lors de notre expérimentation.

2.3.1.2 Le modèle de Nussbaum et Novick

À l'instar de Posner et ses collaborateurs, le modèle de Nussbaum et Novick (1982) s'appuie également sur les travaux de Piaget et de Kuhn. Nussbaum et Novick envisagent également le changement conceptuel comme un remplacement ou une transformation des conceptions initiales, tout comme le précédent modèle.

Selon le modèle de Nussbaum et Novick, le déséquilibre ou conflit cognitif ressenti pendant l'apprentissage amène l'élève à éprouver le besoin de modifier ses conceptions initiales. Cela se produit habituellement à la suite de discussions ou de démonstrations menant à la mise en évidence des anomalies présentes dans son raisonnement grâce à des discussions ou des démonstrations susceptibles de produire une accommodation. Par conséquent, un enseignant doit utiliser des stratégies éducatives afin d'instiguer ce processus d'accommodation. La stratégie fondamentale de ce modèle est le conflit cognitif.

Le modèle de Nussbaum et Novick comprend quatre étapes principales (Scott, Asoko et Driver, 1992) :

- A) Découvrir tout d'abord les conceptions initiales des élèves à travers leurs réactions à un événement révélateur (*exposing event*).
- B) Aiguiser la prise de conscience de l'élève de sa structure mentale et de celle des autres élèves (*student's framework*).
- C) Créer un conflit cognitif en tentant d'expliquer un événement discordant.
- D) Encourager et aider l'accommodation cognitive (*cognitive accommodation*), puis inventer un nouveau modèle conceptuel qui corresponde à l'opinion scientifique établie.

Les étapes A et B ont pour objectif de conduire les élèves à prendre conscience de leurs conceptions initiales et à les verbaliser pour permettre à l'enseignant de les identifier facilement. Afin d'y parvenir, l'enseignant introduit un événement révélateur qui rend facile l'émergence des conceptions initiales. Par exemple, un enseignant pourrait simplement demander aux élèves : « Quelles sont les causes des changements des saisons sur la Terre? » Ou bien, l'enseignant pourrait exposer un modèle physique du système solaire avec la Terre placée à un certain point précis par

rapport au Soleil. Il demanderait alors à l'élève de prédire quelles saisons les hémisphères nord et sud connaîtraient à ce moment. L'étape C est celle de la mise en place d'un conflit cognitif en intégrant un événement discordant que les conceptions initiales des élèves n'arrivent pas à expliquer complètement ou correctement. Le conflit cognitif génère un sentiment d'inconfort ou d'insatisfaction chez les élèves. Cela a pour effet de les motiver à résoudre le conflit cognitif en accommodant leurs conceptions initiales. L'étape D prévoit encourager les élèves à trouver une solution visant une accommodation, pour reprendre les termes de Nussbaum et Novick, dans le but d'accéder à une conception scientifiquement reconnue.

En définitive, dans le modèle de Nussbaum et Novick, le processus de changement conceptuel ambitionne de transformer de façon substantielle ou remplace complètement les conceptions initiales des élèves. Bref, « le modèle de Nussbaum et Novick est centré sur l'idée qu'il est absolument indispensable de produire un déséquilibre ou un conflit cognitif, une sorte de prise de conscience, parfois brutale, par les élèves des limites de leurs conceptions. » (Potvin, 2011, p. 139) Nous nous sommes inspirés en partie de ce modèle afin de créer l'une des trois séquences d'enseignement (*instigatrice*) utilisées lors de notre expérimentation.

2.3.1.3 Le modèle de Giordan et de Vecchi

Tout comme pour ceux de Posner et coll., ainsi que Nussbaum et Novick, le modèle allostérique de Giordan et de Vecchi (1987) favorise l'utilisation de la stratégie du conflit cognitif comme méthode pour provoquer un changement conceptuel. Ce modèle conçoit aussi ce changement conceptuel comme un processus de changement ou de transformation profonde du savoir, mais il ajoute la particularité que ce processus en est un de déconstruction-reconstruction simultanée. Selon ce processus,

ce n'est qu'à partir du moment où les conceptions initiales apparaissent dépassées qu'elles se transforment et cèdent leur place aux nouvelles conceptions reconnues scientifiquement.

Cependant, pour parvenir à cette transformation, le conflit cognitif jouera un rôle différent de celui qu'il incarnait dans le modèle de Posner et coll. Alors que dans ce précédent modèle le conflit cognitif résultait de l'insatisfaction de l'élève par rapport aux conceptions initiales qu'il détenait, le modèle allostérique de Giordan et de Vecchi l'instaure en confrontant délibérément les élèves pour provoquer une déconstruction. Selon ces auteurs, c'est en mettant principalement l'accent sur les limites et la déconstruction des conceptions initiales (avec l'aide du conflit cognitif) qu'il est ensuite possible de les reconstruire afin de les faire évoluer vers un nouvel état de savoir. L'utilisation de réseaux de concepts organisateurs représentant le processus de transformation et d'accommodation (ou déconstruction-reconstruction) emprunté par les conceptions initiales vers les nouvelles connaissances est parfois recommandée (Giordan et de Vecchi, 1987; Potvin, 2011).

Le terme *allostérique* est utilisé, puisque le modèle de Giordan et de Vecchi est spécifiquement fondé sur une analogie établie avec la réactivité chimique des protéines provenant de la biologie moléculaire. Potvin (2011), rappelle cette analogie comme suit :

l'hémoglobine, lorsqu'elle capte l'oxygène sur ses « sites actifs », voit sa structure se modifier légèrement, se reconfigurer pour accueillir le nouvel élément. On dit qu'elle affiche alors un comportement « allostérique ». Dans la pensée de Giordan, ces mots, « site actif » et « allostérique » sont très importants. Les « sites actifs » sont les éléments de la pensée qui sont susceptibles de pouvoir accueillir une nouvelle connaissance ou une nouvelle expérience, alors que le mot « allostérique » pourrait qualifier une compréhension qui s'accommode de ces nouvelles connaissances ou expériences en se transformant. (Potvin, 2011, pp. 163-164)

En conséquence, ce modèle s'articule autour du concept de conceptions initiales, mais la structure et la fonctionnalité de ces dernières changent sous l'influence de leur environnement, tout comme l'hémoglobine lorsqu'elle capte l'oxygène.

Bref, le modèle allostérique de Giordan et de Vecchi « propose une image permettant de mieux saisir le phénomène de changement conceptuel. Il propose entre autres de s'appuyer sur des sites actifs, d'ébranler la structure des concepts et de construire avec les élèves de nouvelles configurations. » (Potvin, 2011, p. 177) Nous nous sommes inspirés en partie de ce modèle afin de créer l'une des trois séquences d'enseignement (*instigatrice*) utilisées lors de notre expérimentation.

2.3.1.4 Le modèle de Vosniadou

À l'inverse des modèles présentés jusqu'ici, percevant le changement conceptuel à la manière d'une transformation ou d'un remplacement des conceptions initiales, le modèle de Vosniadou (1994) considère celui-ci comme une mise au point des cadres théoriques des apprenants. Effectivement, au dire de Vosniadou, les cadres théoriques se situent à un niveau plus profond que les conceptions initiales, qui s'avèrent elles-mêmes intégrées dans cette structure théorique rigide qu'elle nomme alors cadre conceptuel naïf.

D'après Vosniadou, ce cadre conceptuel naïf se développe pendant l'enfance et comprend des présuppositions ontologiques. Cela explique, selon elle, pourquoi les cadres théoriques sont difficilement remis en cause par l'apprenant. En effet, lorsque les multiples connaissances acquises par le biais de l'instruction ou de l'expérience entrent en conflit avec le cadre conceptuel naïf de l'apprenant, ce dernier essaiera malgré tout d'assimiler l'information de manière à ce qu'elle soit conciliable avec ce

cadre. Afin d'élucider progressivement l'instabilité provoquée par ces incohérences au niveau des modèles mentaux de l'apprenant et parvenir à un changement conceptuel, une révision des présuppositions de l'apprenant s'avère nécessaire.

Le modèle de Vosniadou se différencie des précédents quant au rôle du conflit cognitif. Selon cette auteure, le changement conceptuel est une entreprise progressive, qui nécessite l'utilisation de différentes interventions pédagogiques et le conflit cognitif n'est que l'une d'entre elles. De plus, ce modèle soutient que le changement conceptuel repose sur une révision, non pas des conceptions initiales, mais bien des cadres théoriques rigides regroupant les connaissances antérieures ou conceptions initiales qui lui permettent de comprendre le monde qui l'entoure. Potvin démontre la différence entre les cadres conceptuels naïfs et les conceptions initiales grâce aux deux exemples suivants (voir Tableau 2.1).

Tableau 2.2
Éléments de cadres conceptuels naïfs et certaines conceptions initiales incidentes
(adapté de Potvin, 2011)

Éléments de cadres conceptuels naïfs	Conceptions initiales incidentes
Les sons résultent du choc des objets	Le tonnerre est le résultat du choc des nuages entre eux ou de l'éclair qui frappe le sol
Les aliments sucrés sont généralement nocifs pour la santé	Les fruits et le lait ne contiennent pas de sucre

Bref, « le modèle de Vosniadou postule qu'il existe des présuppositions ontologiques et épistémologiques qui forment un cadre de référence rigide et à partir duquel les élèves produisent des réponses et des explications. Il est fondamental (...) de connaître ces présuppositions et d'anticiper leur rôle dans la production de réponses et d'explications. » (Potvin, 2011, p. 195) Nous nous sommes inspirés en partie de ce

modèle afin de créer l'une des trois séquences d'enseignement (*confirmatoire*) utilisées lors de notre expérimentation.

Toutefois, ce modèle fait face à certaines critiques puisqu'il est considéré comme un modèle d'enseignement par certains, alors que d'autres le considèrent comme un modèle général de changement conceptuel. diSessa, dont nous étudierons le modèle ci-après, fait partie de ces critiques.

2.3.1.5 Le modèle de diSessa

Selon le modèle de diSessa (1993), le changement conceptuel passe par une réorganisation des primitives phénoménologiques (*p-prims*) qui forment les conceptions initiales de l'élève. En fait, l'apprenant détiendrait à la base une connaissance fragmentée en pièces (*knowledge in pieces*) qui, selon leur disposition, forment les conceptions initiales.

Par conséquent, même s'ils comportent certaines similitudes, les modèles de Vosniadou (1994) et de diSessa (1993) divergent quant à la source des réponses non scientifiques des apprenants. Selon diSessa, elles ne proviennent pas de théories naïves, tel que soutenu par Vosniadou, mais bien d'une collection fragmentée d'idées ou d'habitudes interprétatives, nommées *p-prims*. Les habitudes interprétatives (ou *p-prims*) sont abondantes et « basées sur l'expérience implicite que les humains cumulent jour après jour, alors qu'ils interagissent physiquement et psychologiquement avec leur environnement, ou avec les gens qui les entourent. » (Potvin, 2011, p. 229)

Dans ces conditions, diSessa souligne que ces habitudes interprétatives sont plus profondes et fondamentales qu'une conception initiale, qui n'en serait que le produit explicite.

Ainsi, lorsque l'élève propose qu'« il fait plus chaud l'été, car la Terre est plus proche du Soleil », il est bien possible qu'il soit en train de mobiliser une habitude interprétative bien connue qu'on appelle « Plus proche = plus intense » (*closer means stronger*), qui a été expliquée pour la première fois par Andrea diSessa. (Potvin, 2011, p. 231)

Cet exemple permet de démontrer que le modèle de diSessa reconnaît le caractère intuitif des habitudes interprétatives des élèves et, plutôt que de les remplacer, il suggère d'amener les apprenants à les structurer autrement au sein de *classes de coordination* conformes aux savoirs scientifiques. Ce faisant, l'organisation des *p-prim*s et leurs contextes d'activation changent.

De cette façon, selon le modèle de diSessa, le changement conceptuel ne constitue pas une élimination des conceptions initiales des élèves, mais plutôt une contextualisation et une intégration différente des habitudes interprétatives au sein de ces *classes de coordination*. Par cette vision progressive du changement conceptuel, s'opposant aux changements brusques, ce modèle ne fait pas du conflit cognitif un principe fondamental.

Bref, selon Potvin, « le modèle de diSessa nous apprend que les conceptions inattendues sont le résultat de la mobilisation d'habitudes interprétatives basées sur l'intuition (...). » (2011, p. 254) Nous nous sommes inspirés légèrement de ce modèle afin de créer l'une des trois séquences d'enseignement (*confirmatoire*) utilisées lors de notre expérimentation.

2.3.1.6 Le modèle de Potvin

Selon le modèle de Potvin (2013), des conceptions différentes peuvent coexister, avec l'une d'entre elles surpassant les autres. Selon cette vision, comportant des similitudes avec le modèle de *Resubsumption* d'Ohlsson (2009) et s'inspirant de résultats de recherches récents (Dunbar, Fugelsang, et Stein [2007]), le changement conceptuel ne nécessite pas la transformation des conceptions initiales.

Potvin (2013) définit le modèle de prévalence du conflit cognitif comme suit :

Les conflits cognitifs seraient menés non pas dans le but d'obtenir l'insatisfaction, qui a été récemment débattu comme presque impossible (Ohlsson, 2009), mais pour installer une vigilance durable. Les critères de fécondité seraient satisfaits principalement afin de favoriser l'automatisme. Non seulement parce qu'elle favorise la crédibilité de la conception souhaitée avec chaque nouveau contexte d'application, mais aussi parce que chaque nouvelle tentative de favoriser la fécondité est aussi une autre répétition.¹⁰ (Potvin, 2013, p. 33)

Par conséquent, dans ce modèle de prévalence, la première condition à remplir ne serait pas l'insatisfaction par rapport aux conceptions initiales. Des recherches ont déjà montré que cette insatisfaction, par l'introduction d'événements discordants, peut difficilement être obtenue (Ohlsson, 2009). En effet, les apprenants semblent fréquemment tourner leur attention loin des données discordantes (Fugelsang et Dunbar, 2005), les traitants comme de simples erreurs. Cela rejoint le consensus

¹⁰ Traduction libre de : "Cognitive conflicts would be conducted not to obtain dissatisfaction, which has been recently argued as almost impossible (Ohlsson, 2009), but to install durable watchfulness. The fruitfulness criteria would be met mostly to favour automaticity. Not only because it favours the credibility of the desired conception with every new context of application, but also because every new attempt to favour fruitfulness is also another repetition." (Potvin, 2013, p. 33)

selon lequel un conflit cognitif significatif est très difficile à réaliser. Par conséquent, le modèle de prévalence propose que la première condition d'enseignement à remplir devrait être la *disponibilité de la conception programmée (souhaitée)* (étape 1).

C'est la première différence fondamentale avec les modèles classiques, qui suggèrent de commencer une séquence d'enseignement avec un conflit cognitif ou conceptuel. D'un point de vue « de prévalence », le conflit n'a de sens que dans un contexte de concurrence; les apprenants devraient donc avoir la possibilité de bénéficier de la disponibilité d'une « nouvelle branche » à laquelle s'accrocher avant d'être invités ou incités à se laisser aller de la « vieille branche ». ¹¹

Selon Potvin, le choix d'assurer dès le début d'une séquence d'enseignement la présence de conceptions scientifiques souhaitées pour l'ensemble des apprenants, peu importe leurs connaissances préalables, faciliterait la démarche de changement conceptuel et limiterait l'importance des conceptions initiales dans l'apprentissage. Néanmoins, selon ce modèle, les conflits cognitifs peuvent encore être utilisés pour installer des *panneaux d'arrêt inhibiteur* (étape 2).

Cette deuxième étape correspond en partie à la condition de l'*insatisfaction* du modèle de Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982), sauf qu'au lieu de viser à discréditer les conceptions erronées (*misconceptions*) au travers d'explications ou de démonstrations (*événements discordants*), le seul but des *panneaux d'arrêt inhibiteur* est de reconnaître les contextes particuliers où ces dernières conduisent à plus d'erreurs que la conception scientifique établie. (Potvin, 2013, p. 30) Cela a le potentiel de favoriser la prévalence temporaire des conceptions désirées, présentées à

¹¹ Traduction libre de : "This is the first fundamental difference with the classical models, which suggest beginning a teaching sequence with a cognitive or conceptual conflict. From a "prevalence" perspective, conflict has meaning only in the context of competition; learners should therefore be given the chance to benefit from the availability of a "new branch" to grab onto before being invited or incited to let go of the "old one."¹¹ (Potvin, 2013, p. 29)

l'étape 1, et aussi de la prolonger dans le temps, ce qui augmente les possibilités de renforcement.

Enfin, le modèle de prévalence suggère que chaque initiative d'enseignement qui a le potentiel de favoriser la *prévalence durable de la conception programmée* (étape 3) doit alors être mise en œuvre. Selon Potvin (2013), les modèles classiques de changement conceptuel échouent trop souvent puisque de nombreuses conceptions erronées entretenues par les apprenants ressuscitent même après un enseignement efficace ayant transmis la bonne conception scientifique. Une prévalence durable des conceptions souhaitées pourrait ainsi être obtenue par l'exposition à un grand nombre de problèmes pouvant être résolus grâce à la conception désirée, ainsi qu'avec l'utilisation d'une variété de contextes, tels des leurres, qui correspondent à des erreurs classiques. La proportion optimale et le séquençage de ces problèmes servant de distractions restent à explorer.

En conclusion, « les quelques différences entre ce modèle de prévalence et les modèles classiques sont surtout à propos de l'ordre dans lequel les opérations sont menées »¹². D'ailleurs, cette différence dans le séquençage n'a jamais été testée expérimentalement, à notre connaissance. Par conséquent, ce modèle s'avère l'une des inspirations premières de notre question de recherche, puisqu'il prône d'utiliser un enseignement traditionnel pour débiter le processus de changement conceptuel, puis lorsque les élèves savent donner de bonnes réponses, après de bonnes explications, elles sont consolidées avec le conflit cognitif. Ainsi, le conflit cognitif pourrait jouer un rôle *confirmatoire* plutôt qu'*instigateur* en consolidant l'enseignement traditionnel. Cela permettrait, selon Potvin, d'éviter plusieurs

¹² Traduction libre de : "the few differences between this prevalence model and the classical ones are mostly about the order in which the operations are conducted" (Potvin, 2013, p. 33).

« pièges » traditionnellement associés à la façon classique d'administrer le conflit cognitif.

2.3.2 Discussion au sujet des modèles présentés

Par leur façon de définir le processus de changement conceptuel, les modèles présentés précédemment mettent en exergue des points communs et des divergences.

En premier lieu, tous les auteurs se mettent d'accord par rapport à l'importance de tenir compte des conceptions initiales des apprenants afin de parvenir à engendrer un changement conceptuel. Conformément, les auteurs des différents modèles présentés conviennent que parvenir à un changement conceptuel s'avère une entreprise ardue et que les conceptions initiales opposent naturellement une résistance à tout changement apparent.

À l'inverse, des distinctions théoriques fondamentales isolent plusieurs de ces modèles. D'une part, les auteurs ne parviennent pas à un consensus vis-à-vis de la nature des connaissances antérieures des apprenants et, ce faisant, du changement conceptuel en tant que tel. Pour plusieurs, le changement conceptuel tire son origine des conceptions initiales (Nussbaum et Novick, 1982; Posner et coll., 1982; Giordan et de Vecchi, 1987) tandis que pour certains, il tirerait plutôt son origine au niveau de structures plus larges (Vosniadou, 1994; Potvin, 2013) ou plus petites (diSessa, 1993) au sein desquelles les conceptions initiales se retrouveraient étroitement enchevêtrées.

D'autre part, la perception du changement qui s'opère durant le processus de changement conceptuel diffère d'un auteur à l'autre. En effet, selon les chercheurs localisant ce changement sur le plan des conceptions initiales (Nussbaum et Novick,

1982; Posner et coll., 1982; Giordan et de Vecchi, 1987), un changement conceptuel surviendrait après l'évolution des conceptions initiales d'un apprenant. À l'opposé, selon les chercheurs localisant préférentiellement ce changement sur le plan de l'inhibition ou des cadres ou structures conceptuelles plus larges (Vosniadou, 1994; diSessa, 1993; Potvin, 2013), le changement conceptuel apparaîtrait soit comme le résultat de la restructuration de ces cadres afin qu'ils évoluent de façon correspondante au savoir scientifique ou soit selon la prévalence durable des conceptions programmées.

Les différentes manières d'envisager le modèle d'apprentissage du changement conceptuel exposées précédemment dans cette section exercent une influence sur les méthodes d'enseignement qui en résultent. De fait, cela apparaît quant à la décision d'employer ou non la stratégie éducative du conflit cognitif comme approche pour atteindre un changement conceptuel. Voilà pourquoi nous effectuerons une comparaison expérimentale de l'effet de trois séquences d'enseignement différentes sur l'efficacité du changement conceptuel.

Tant par son acceptation, sa critique ou son rejet, le conflit cognitif occupe une place prépondérante dans les modèles décrits ci-dessus. Il en ressort que certains chercheurs se questionnent sur le moment et la manière de l'utiliser afin de favoriser le changement conceptuel.

2.4 Le conflit cognitif

Tout comme Nussbaum et Novick (1982) l'ont établi, l'apprentissage scientifique doit nécessairement passer par une modification ou plus précisément une accommodation des structures cognitives de l'élève. Par conséquent, un enseignant

doit mettre en place différentes stratégies éducatives afin de provoquer cette accommodation, dont la plus centrale est sans doute celle du conflit cognitif.

De nombreuses définitions du conflit cognitif ont été proposées par plusieurs auteurs. Lee le définit comme « un état perceptif dans lequel on remarque le décalage entre sa structure cognitive et l'environnement (information externe) ou entre les composantes de sa structure cognitive (c'est-à-dire, ses conceptions, croyances, infrastructures, etc., qui font partie de la structure cognitive) »¹³. Au sein de leur article de 2012, Lee et Byun exposent un examen intéressant et assez complet des définitions disponibles. La plupart d'entre elles englobent les idées de déséquilibre, d'attentes ou de prédictions non confirmées, de conflits logiques entre les conceptions, etc. (Lee et Byun, 2012, pp. 944-945).

De plus, nous prenons note qu'il existe différents types de conflits. Certains conflits se produisent entre des conceptions existant au sein d'une même personne, d'autres conflits se produisent entre différentes personnes (conflits sociocognitifs), mais, le plus souvent, les modèles visent à déclencher des conflits en introduisant de nouvelles informations contradictoires (Limón, 2001, p. 360). Dans ce cas, une contradiction se produit, par exemple, entre la conception ou les attentes de l'élève et les informations cruciales qu'un enseignant compétent porte à son attention. L'apprenant perçoit dès lors ces nouvelles informations comme discordantes. Ainsi, un tel événement discordant peut être défini comme « l'expérience physique qui offre aux étudiants une nouvelle preuve afin de contredire leurs conceptions existantes » (Kang, Scharmann, et Noh, 2004, p. 73).

¹³ Traduction libre de : "a perceptual state in which one notices the discrepancy between one's cognitive structure and environment (external information) or between the components of one's cognitive structure (i.e., one's conceptions, beliefs, substructures, etc., which are part of the cognitive structure)" (Lee et Yi, 2013, p. 603).

Pour finir, de nombreux moyens ont été proposés afin de déclencher des conflits cognitifs. Entre autres, des « démonstrations décapantes ou des paradoxes afin d'éveiller la [...] motivation »¹⁴ sont recommandés auprès des enseignants, tout comme l'utilisation insistante d'exemples et d'illustrations afin de promouvoir une compréhension profonde chez les apprenants.

2.4.1 Limites du conflit cognitif

Toutefois, comme mentionné dans la problématique, le succès de cette stratégie éducative dépend de la volonté et de la capacité de l'apprenant à reconnaître le conflit et à le résoudre (Limón, 2001; Scott, Asoko et Driver, 1992). Par exemple, on ne peut produire un conflit entre les différentes idées présentes dans une classe, ou entre les attentes d'un élève et un événement physique, que si l'apprenant est prêt à construire une compréhension personnelle de tels idées et événements et à essayer, par la suite, de les relier. De plus, Dreyfus et coll. (1990, p. 567) soulignent que « même les conflits porteurs de sens ne sont pas toujours des succès, car ils n'impliquent pas toujours l'acquisition des connaissances requises, et/ou simplement visées ».

À ce sujet, Fugelsang et Dunbar (2005) soulignent aussi qu'il est primordial de tenir compte du moment auquel le conflit cognitif est amené, puisque cela a une influence sur la capacité d'un sujet à reconnaître un tel conflit comme étant une erreur.

En effet, dans leur première recherche [Fugelsang et Dunbar (2005)], les résultats démontraient que, face à la présentation d'informations allant à l'encontre des conceptions de l'élève, la région cérébrale du cortex cingulaire antérieur, principalement liée à la détection de conflits, était activée, mais la

¹⁴ Traduction libre de : "baffling demonstrations or paradoxes to arouse [...] motivation" (Lee et coll., 2003, p. 586)

zone du gyrus parahippocampique, liée à l'apprentissage et à la mise en mémoire des données, ne l'était pas. Les chercheurs ont constaté que, face à un conflit cognitif, les individus ont tendance à conserver leurs connaissances antérieures et à ne pas tenir compte des nouvelles données qui leur sont présentées, les considérant alors comme des erreurs. Ces découvertes remettaient donc en question l'efficacité de l'enseignement par la méthode du conflit cognitif. (Brault Foisy et Masson, 2011, p. 30)

À cet égard, il faut noter que ces résultats confirment les doutes de plusieurs autres chercheurs cités précédemment et fournissent des explications partielles sur les raisons pour lesquelles plusieurs élèves perçoivent mal le conflit cognitif lorsqu'ils y font face en classe et pourquoi certains autres ne l'acceptent pas. Ces résultats vont également dans le même sens du modèle de prévalence proposé par Potvin (2013). Toutefois, une question primordiale demeure toujours ouverte : le *moment* où le conflit cognitif doit être administré afin d'avoir les plus grandes chances de succès.

2.4.2 Rôles du conflit cognitif

Selon Scott, Asoko et Driver (1992), les stratégies d'enseignement utilisant délibérément une approche basée sur le conflit cognitif peuvent certes mettre en évidence les divergences entre les idées des élèves et les perspectives scientifiques (par exemple Rowell et Dawson, 1983), mais elles peuvent aussi avoir pour rôle d'exploiter les contradictions entre :

- A) deux ensembles d'idées déjà à la disposition des apprenants, par exemple les représentations qualitatives intuitives et quantitatives numériques de la température, citées par Stavy et Berkovitz (1980);

- B) un modèle explicatif donné par l'apprenant et un événement que ce modèle ne peut expliquer, par exemple, le modèle continu de la structure des gaz opposé à la preuve que le gaz peut être comprimé, cité par Nussbaum et Novick (1982);
- C) les idées d'un élève et celles de ses camarades de classe. Par exemple, les différentes idées du mouvement des objets, citées par Champagne et coll. (1985).

Cependant, Rowell et Dawson (1983), tout comme Fugelsang et Dunbar (2005), préviennent les chercheurs et enseignants de prendre garde à ce que le conflit cognitif ne soit pas interprété et traité comme une exception à la règle par les apprenants. En effet, s'il est interprété comme une exception, le conflit cognitif n'amènerait pas de changement conceptuel, mais possiblement plutôt de la confusion et conséquemment une éventuelle résistance au changement. En ce sens, plusieurs auteurs (Limón, 2001; Rowell et Dawson, 1983; Vosniadou, 2008) soulignent qu'il est de première importance de s'assurer que le changement conceptuel visé par le conflit cognitif soit compris de façon profonde et pas seulement accepté et compris du seul point de vue verbal. En outre, certains chercheurs, tels Scott, Asoko et Driver (1992), mettent en exergue l'importance du moment où le conflit cognitif doit être administré afin qu'il soit fructueux.

2.4.3 Le moment où le conflit cognitif est administré

Selon la majorité des chercheurs (Nussbaum et Novick, 1982; Piaget, 1974; Posner et coll., 1982), il semble que le moment optimal pour déclencher un conflit cognitif se situe *au début* de l'enseignement puisque cela permet normalement d'accentuer la motivation de l'élève au sein de son apprentissage. Pourtant, dans les salles de classe

de sciences, le conflit s'avère fréquemment utilisé *plus tard*, dans le cadre d'expériences de laboratoire ou suite à une leçon théorique. Cette division entre le milieu de la recherche et celui de l'enseignement fut mise en évidence par Rowell et Dawson dès 1983. Cependant, comme décrit dans la problématique de la présente recherche (voir Chapitre I), peu de recherches se sont intéressées exclusivement à cette question.

Scott, Asoko et Driver (1992) ont identifié ces deux types de stratégies en ce qui a trait au rôle et à la meilleure façon de produire des conflits cognitifs (voir 1.5). Selon ces derniers, le conflit cognitif peut remplir un rôle que nous avons qualifié (A) d'*instigateur* ou (B) de *confirmatoire* par rapport au changement conceptuel. La majorité des modèles d'enseignement utilisent le conflit de la première manière (A), c'est-à-dire lorsque le conflit cognitif joue un rôle instigateur. Toutefois, plusieurs chercheurs ont émis l'hypothèse (Scott, Asoko et Driver, 1992; Rowell et Dawson, 1983; Lee et Byun, 2003) que la seconde manière (B), c'est-à-dire lorsque le conflit cognitif joue un rôle confirmatoire, permettrait un apprentissage plus profond et durable. Seulement, aucune étude récente ne s'est intéressée à ce sujet. Pourtant, des chercheurs, tels Lee et Byun (2003), insistent sur la pertinence scientifique de faire une étude sur la question.

Toutefois, qu'il occupe un rôle instigateur ou confirmatoire, les auteurs convergent quant à la meilleure méthode didactique pour mettre en place un conflit cognitif signifiant, soit l'utilisation d'un *événement discordant*.

2.4.4 Les événements discordants

Le concept de discordance tire ses origines des travaux de Festinger (1957) et de sa théorie de la dissonance cognitive selon laquelle la création d'une dissonance (ou discordance) s'avère psychologiquement très inconfortable pour le cerveau d'un apprenant et motiverait les individus à réduire ce niveau de dissonance afin de revenir à un état d'équilibre. Dans un même ordre d'idée, un événement discordant représente un événement qui surprend, étonne ou déroute l'observateur (Kavogli, 1993). Ces types d'événements sont utilisés fréquemment en classe de sciences, particulièrement lors d'une expérience de laboratoire. Selon Kavogli (1993), les événements discordants suscitent normalement l'intérêt des élèves et aident à motiver les élèves à apprendre les principes de la science. Puisqu'ils favorisent le développement des capacités de résolution de problème des apprenants, ces événements constituent un choix didactique favorable à la discussion entre les élèves et l'enseignant (Kavogli, 1993). Des auteurs utilisent également les expressions événements « étonnants » ou événements « surprenants ». Toutefois, même si les termes changent, les définitions se recourent presque toujours et sont pour la plupart brèves, se contentant de mettre en évidence le rôle pivot de l'événement discordant en tant qu'instigateur de la contradiction entre conceptions initiales et conceptions scientifiques.

Par exemple, dire à des élèves que le maïs croît plus vite dans l'obscurité qu'à la lumière remet en question des idées préconçues qu'ils entretiennent. Parce qu'une telle information discordante ou surprenante s'avère souvent différente de ce qui est attendu, un tel événement peut susciter l'intérêt de l'élève, même s'il est normalement désintéressé. Le moment où un apprenant réalise la contradiction, il

aura dès lors une meilleure compréhension du problème et pourra reconstruire ses conceptions (Kavogli, 1993). Même si les élèves sont capables de produire la bonne réponse parce qu'ils soupçonnent que l'enseignant tente de les tromper, ils resteront intéressés parce qu'ils voudront savoir pourquoi.

En utilisant un événement discordant, un enseignant peut ainsi évaluer les connaissances antérieures des élèves en posant des questions simples et en animant des discussions détendues. Ces discussions peuvent piquer l'intérêt des élèves et générer encore plus de questions sur le sujet. Ce faisant, les élèves peuvent développer et tester des hypothèses en concevant leur propre expérience de laboratoire ou en effectuant une expérience de laboratoire prédéfinie par l'enseignant. En résumé, l'événement discordant est la source même du conflit cognitif lorsqu'on utilise cette stratégie pour provoquer le changement conceptuel.

En ce sens, dans le cadre de la présente étude, plusieurs événements discordants seront utilisés à des moments différents lors de l'expérimentation afin de promouvoir l'apprentissage de conceptions scientifiques adéquates en créant un conflit cognitif chez l'apprenant. Par conséquent, selon la séquence d'enseignement, ces événements discordants précéderont le conflit cognitif (modèle classique de changement conceptuel), suivront le conflit cognitif (modèle de prévalence de changement conceptuel) ou seront absents (répétition de l'enseignement traditionnel, soit un enseignement transmissif où l'enseignant expose un savoir sous forme de cours magistral, généralement suivi d'exercices ou de leçons à apprendre). En outre, l'évènement discordant, par son effet dissonant, aurait une influence sur le temps de réaction des apprenants (Stavy et Babai, 2008). À cet effet, Stavy et Babai (2008) soulignent que les résultats de leur étude démontrent : « [...] que les épreuves dissonantes donnent une exactitude inférieure et des temps de réaction plus longs que

les congruentes.¹⁵ » Ce résultat important sera pris en compte dans les hypothèses de recherche de la présente étude.

2.5 Hypothèses de recherche

S’inscrivant dans la continuité des concepts étudiés dans ce chapitre et le précédent, la présente recherche se penchera sur le rôle du conflit cognitif au sein du changement conceptuel afin de permettre aux élèves de surmonter leurs conceptions initiales en sciences.

Pour ce faire, nous proposons trois hypothèses afin de répondre à la question centrale de cette étude : *Afin de favoriser le changement conceptuel, est-ce que le conflit cognitif devrait être utilisé avant ou après la présentation de nouvelles connaissances scientifiques aux élèves?*

Nous croyons qu’une réponse convaincante à cette question devrait soit soutenir les modèles *classiques* ou le modèle de *prévalence* du changement conceptuel, puisque la stratégie du conflit cognitif est utilisée de façon *instigatrice* au changement conceptuel au sein des modèles classiques, alors qu’elle est utilisée de façon *confirmatoire* dans le modèle de *prévalence*. Les termes CCI (conflit cognitif instigateur), CCC (conflit cognitif confirmatoire) et ET (enseignement traditionnel) seront utilisés afin de reformuler mathématiquement les hypothèses de recherche.

¹⁵ Traduction libre de : “[...] shows that incongruent trials yield lower accuracy and longer reaction times than congruent ones.” (Stavy et Babai, 2008, p. 170).

Sur la base de notre revue de la littérature, et sur notre supposition que le modèle de prévalence semble préférable, puisqu'il propose d'utiliser la stratégie du conflit cognitif en tant qu'élément *confirmatoire*, nous formulons l'hypothèse suivante :

- ❖ *Hypothèse (H)* : La séquence d'enseignement utilisant le conflit cognitif en tant qu'élément *confirmatoire* enregistrera les meilleurs gains (exactitude des réponses) et la meilleure consolidation conceptuelle (accélération des temps de réaction aux réponses déjà correctes au pré-test lors du posttest).
 - H : CCC > CCI et ET
- ❖ *Première hypothèse alternative (H₁)* : La séquence d'enseignement utilisant le conflit cognitif en tant qu'élément *instigateur* enregistrera les meilleurs gains et la meilleure consolidation conceptuelle.
 - H₁ : CCI > CCC et ET
- ❖ *Deuxième hypothèse alternative (H₂)* : La séquence d'enseignement évitant entièrement le conflit cognitif enregistrera les meilleurs gains et la meilleure consolidation conceptuelle.
 - H₂ : ET > CCI et CCC

Dans tous les cas, les hypothèses seront testées avec les données disponibles. Selon l'hypothèse qui sera vérifiée, il sera possible de fournir des prescriptions propices au milieu scolaire, afin de favoriser le changement conceptuel en sciences.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre présente tout d'abord les *sujets* de notre étude. Ensuite, nous décrivons brièvement les *considérations éthiques*. S'ensuit la présentation de la *tâche* utilisée dans le cadre de notre expérimentation, qui peut être qualifiée de *quantitative vérificatoire*. Nous décrivons ensuite les *traitements* auxquels ont été soumis les sujets, et, finalement, nous expliciterons le *protocole* suivi lors de la collecte des données et les *modalités d'analyse des données* retenues.

3.1 Sujets

Les sujets de notre étude étaient 565 élèves québécois de cinquième et sixième année recrutés volontairement et provenant de 35 classes différentes dans sept écoles primaires de la grande région de Montréal au Canada. L'échantillon était constitué de 262 garçons et 303 filles, toutefois le sexe des élèves n'a pas été retenu comme facteur d'analyse et ne constituait pas un critère de recrutement. Les sujets ont habituellement 10-11 ans, sauf exception. Seules les données de 558 participants ont été considérées, compte tenu de quelques erreurs techniques. Ces niveaux scolaires ont été choisis parce que l'on sait que la conception à laquelle on s'intéresse, soit la flottabilité (flotte/coule), pose encore un défi pédagogique réel pour des enfants de cet âge. Les sujets retenus maîtrisaient suffisamment le français écrit et oral, afin de comprendre les consignes d'une tâche informatisée simple.

3.2 Considérations éthiques

Les considérations éthiques ont été respectées avec diligence dans le cadre de cette étude. Un certificat d'éthique a été obtenu en mars 2014 de la part du comité de *Conformité à l'éthique en matière de recherche impliquant la participation de sujets humains* (CÉRPÉ) de l'Université du Québec à Montréal (numéro du certificat : 2013 — 0087A). Les participants ont été recrutés par l'auteur et son directeur de recherche, en contactant les directeurs des sept écoles. Les élèves ont donné leur consentement écrit, ainsi que leurs parents et leurs enseignants en remplissant un formulaire d'information et de consentement (voir Appendice A). Ils ont également reçu une visite libre au Centre des Sciences de Montréal comme mesure incitative. Il n'y avait aucun mécanisme d'exclusion des élèves en fonction de leurs caractéristiques personnelles.

3.3 Tâche

Une tâche cognitive informatisée conçue, validée et publiée précédemment au cours de deux projets de recherche avec 128 élèves de 1^{re} et 2^e secondaire (Potvin et coll., 2015) et 21 enseignants de science (Potvin, Masson et Cyr, 2014) a été utilisée comme pré-test et posttest auprès des sujets de la présente étude. Dans les deux recherches susmentionnées, la tâche a démontré sa capacité à enregistrer les erreurs conceptuelles des participants (*exactitude des réponses*), ainsi qu'à mettre en exergue les différences de *temps de réaction* entre ses trois types de *stimuli* (intuitifs, neutres et contre-intuitifs). L'exactitude des réponses se mesure de deux façons, c'est-à-dire

que soit la réponse de l'élève est correcte (1) ou non (2). Le temps de réaction, quant à lui, sera enregistré pour chacun des *stimuli* présentés.

Cette tâche, nommée « Les balles », a été choisie puisque la conception initiale selon laquelle *les objets les plus lourds coulent plus* est très répandue chez les élèves et il est fréquemment nécessaire de leur faire vivre un processus de changement conceptuel afin qu'ils apprennent la conception scientifique établie (*masse volumique*), comme mentionné précédemment dans le cadre théorique (voir 2.1.1 Exemple de conceptions initiales liées au concept de flottabilité). Ce choix s'avère pertinent puisque cette tâche informatisée avait pour objectif d'évaluer les sujets par rapport à leur capacité à résoudre une série de problèmes très simples liés au concept de la flottabilité (*flotte/coule*). Ainsi, la tâche consistait à présenter des images de paires de balles pouvant être de trois tailles différentes (petite, moyenne, grande), et faites de trois matériaux communs différents (mousse de polystyrène, bois et plomb). Les élèves participants devaient ensuite choisir quelle balle *coule le plus* si elle est submergée dans l'eau en appuyant à gauche (touche z) ou à droite (touche m) sur le clavier dans un délai maximum de 5 secondes (voir Figure 3.1). La taille des balles constituait en fait une diversion, puisque uniquement le matériel dont était constitué les balles avait une influence sur leur flottabilité et, par conséquent, la bonne réponse à donner : mousse de polystyrène < bois < plomb.



Figure 3.1 Touches et doigts utilisés pour répondre à la tâche

Dans le cadre de cette tâche, l'ensemble des combinaisons possibles de paires de balles de tailles et de matériaux a été utilisé, pourvu que ces combinaisons pussent être répondues par *gauche* ou *droite*. Cela a donné 54 (9x6) images présentées aléatoirement et réparties en trois catégories de 18, soit *intuitives*, *neutres*, ou *contre-intuitives*. Les images étaient considérées comme *intuitives* lorsque les conceptions initiales possiblement entretenues par les sujets par rapport à la taille (et le poids) correspondaient tout de même à la réponse exacte souhaitée et interféraient *positivement* avec lesdites conceptions initiales. Elles étaient considérées comme *neutres* lorsque la taille des balles était semblable, puisque nous présumons par conséquent qu'elle n'interférait pas avec le choix des sujets. En dernier lieu, les images étaient considérées comme *contre-intuitives* lorsque les conceptions initiales des participants pouvaient provoquer une réponse erronée et interféraient *négativement* avec lesdites conceptions initiales. La Figure 3.2 donne des exemples de *stimuli* et leurs catégories respectives. Soulignons que lors du pré-test, ces *stimuli* étaient précédés par une série de sept *stimuli* choisis au hasard à des fins

d'accoutumance. Les sujets étaient prévenus que les données recueillies lors de cette première série n'étaient pas enregistrées.

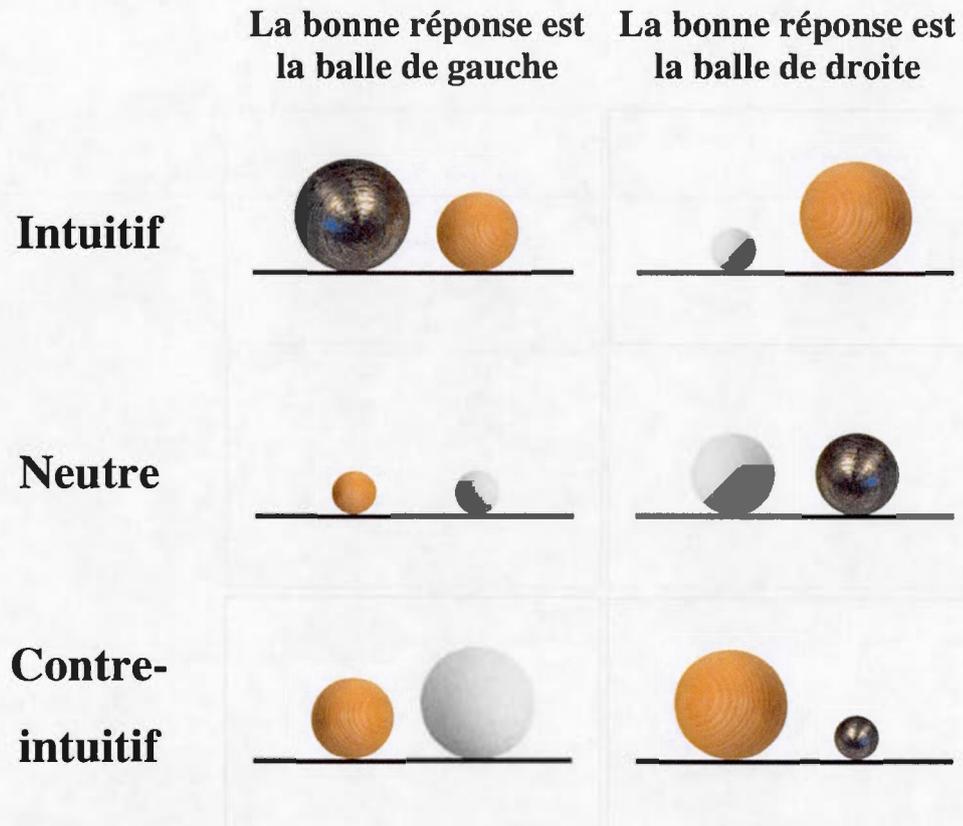


Figure 3.2 Exemples de *stimuli* et leurs catégories respectives

La tâche enregistrait l'*exactitude* des réponses des sujets, ainsi que les temps de réaction, nous permettant ainsi de diagnostiquer la présence d'idées fausses (*conceptions initiales*) et de suivre les changements conceptuels au fur et à mesure que la tâche avançait. De plus, la tâche nous a également permis de « suivre l'apprentissage au-delà de la production de réponses correctes » (Traduction libre de : Potvin et coll., 2015). En effet, dans le cadre de l'expérimentation de Lee et coll. (2003), on dit que :

quand le conflit cognitif se produisait, il pouvait parfois être rendu évident par de l'hésitation, des regards en arrière et en avant, et des signes de malaise et de tension [...]. La mesure traditionnelle utilisée par les psychologues cognitifs pour évaluer ces délais est le temps de réaction.¹⁶ (Lee et coll., 2003, p. 588)

Par conséquent, au-delà de la simple exactitude des réponses, une réduction des délais entre les réponses qui étaient correctes lors du pré-test et aussi correctes (pour les mêmes *stimuli*) lors du posttest indiquerait une réduction du conflit cognitif entre les conceptions initiales et donc un *renforcement* des conceptions scientifiques visées. Essentiellement, en enregistrant l'*exactitude des réponses* et les *temps de réaction*, la tâche nous permettait non seulement de suivre les changements conceptuels, mais également de vérifier quel type de conflit cognitif (*instigateur* ou *confirmatoire*) procurait la plus grande consolidation conceptuelle lors du posttest quand les réponses des sujets étaient initialement correctes lors du pré-test.

3.4 Traitements

La tâche « Les balles » constituait la prémisse au traitement auquel les sujets allaient être exposés. En effet, afin d'éviter le biais « humain » et de contrôler les conditions dans lesquelles l'enseignement allait être administré aux sujets, nous avons fait le choix d'enregistrer deux vidéos d'enseignement fondamentalement différentes et de les présenter aux participants en lieu et place d'un enseignement qui aurait pu être différent selon les influences extérieures : choix des mots utilisés, questions des élèves, biais d'autorité, etc. L'utilisation de deux vidéos d'environ 5 minutes (4 minutes 28 secondes [ET] et 5 minutes 40 secondes [CC]) nous permettait de

¹⁶ Traduction libre de : "when cognitive conflict occur[ed], it would sometimes be evidenced by hesitation, looking back and forth, and signs of uneasiness and tension [. . .]. The traditional measure used by cognitive psychologists to assess such delays is response latency". (Lee et coll., 2003, p. 588)

transcender ce biais « humain » et de nous assurer que le temps d'enseignement dévoué à chacun des groupes de sujets serait prédéterminé. La première vidéo était la *vidéo de l'enseignement traditionnel* (ci-après désignée comme « ET »), et l'autre était la *vidéo du conflit cognitif* (ci-après désignée comme « CC »). Ces deux vidéos étaient présentées aux participants par l'intermédiaire d'ordinateurs portables, tel que nous le décrirons plus en détail dans la section *protocole* (voir 3.3 Protocole)

3.4.1 La vidéo de l'enseignement traditionnel (ET)

La vidéo ET pourrait être considérée comme une leçon de science ordinaire ayant pour objectif de transmettre des informations cruciales aux sujets de l'expérimentation afin de les aider à comprendre pourquoi un objet flotte ou coule. Nous avons porté une attention particulière afin de nous assurer que cette vidéo ne contenait aucune négation et aucun conflit. En effet, l'une des caractéristiques principales de la vidéo était qu'aucune information contradictoire n'était fournie, puisque seules des informations *positives* ont été utilisées en étant dans l'expectative que la conception scientifique pourrait être comprise. Cela a été rendu possible en s'assurant que la vidéo ET remplissait les trois étapes suivantes :

- (i) *l'intelligibilité*, en fournissant des explications claires;
- (ii) *la plausibilité*, en montrant des expériences réelles;
- (iii) *la fécondité*, en fournissant de multiples démonstrations du processus de pensée souhaitée.

La Figure 3.5 (voir ci-après) montre des images de la vidéo ET, dont le synopsis se résume en sept étapes :

- (1) La vidéo débutait en affichant le titre, qui était également prononcé à voix haute par le narrateur : « *Qu'est-ce qui fait qu'un objet flotte ou coule?* »
- (2) La vidéo fournissait ensuite des explications sur la façon dont le comportement des objets serait qualifié lorsque ces derniers seront plongés dans l'eau d'un aquarium (voir Figure 3.3) :
- a. *Coule très peu*, c'est-à-dire que « **la majorité de l'objet se retrouve à la fin hors de l'eau** »;
 - b. *Coule partiellement*, c'est-à-dire que « **la majorité de l'objet se retrouve à la fin sous l'eau** »;
 - c. Et *coule beaucoup*, c'est-à-dire que « **l'objet va à la fin toucher le fond de l'aquarium** ».

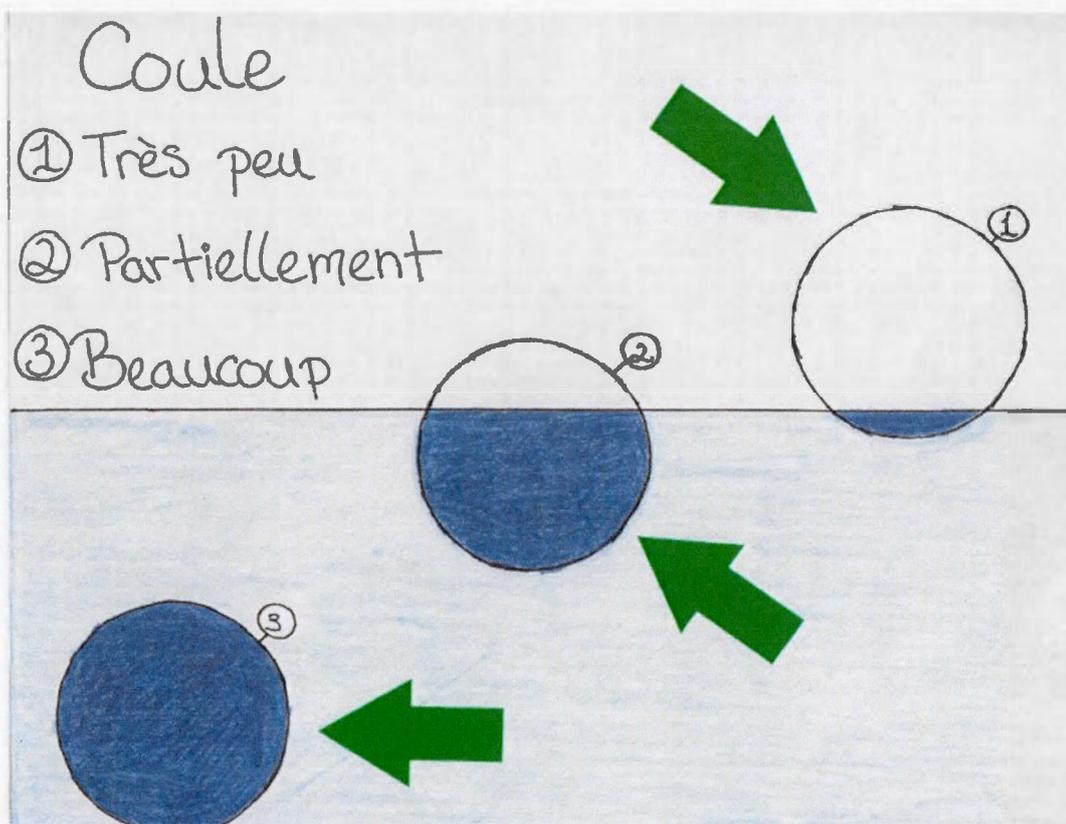


Figure 3.3 Échelle descriptive pour les vidéos d'enseignement

- (3) La vidéo montrait une table recouverte d'objets usuels qui seront utilisés pendant la vidéo : brique, orange, canard en plastique, petit pot de plastique, tournevis, kiwi, tube de crème solaire, balle de plastique, pomme, gomme à effacer, dé à coudre, balle de bois, attache, bouchon de liège, poids, ballon de baudruche et cuillère de métal (voir Figure 3.4). Le narrateur présente les objets à voix haute : « **Dans la vidéo que vous allez visionner, les objets usuels suivants seront utilisés.** »

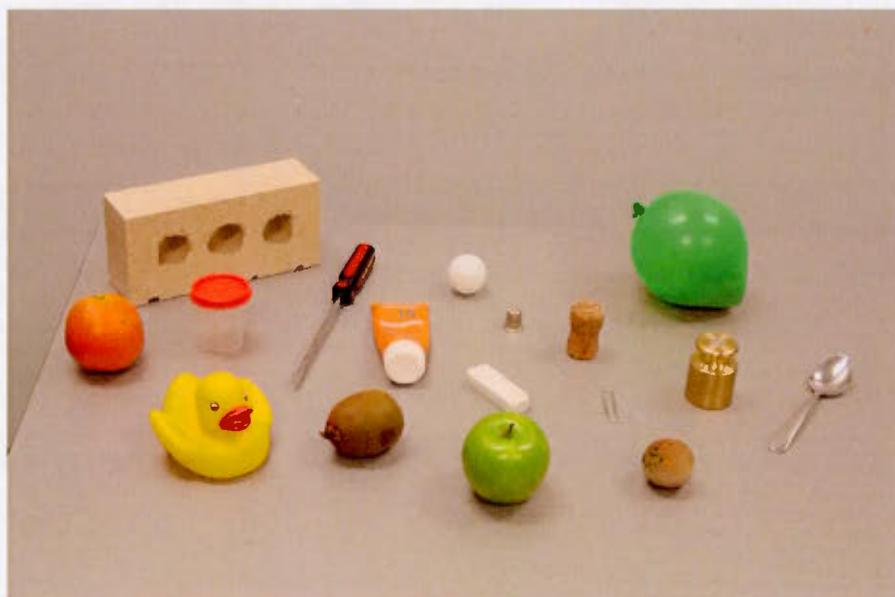


Figure 3.4 Objets usuels utilisés dans les vidéos ET et CC

- (4) La vidéo montrait, dans un même ordre d'idées, une série d'objets plongés un par un dans un aquarium afin de distinguer leurs flottabilités respectives. Ces objets étaient choisis parmi la collection d'objets usuels préalablement sélectionnés et, juste avant que l'objet soit plongé dans l'eau, le narrateur demandait : « **Comment [l'objet] se comportera-t-il?** » Le narrateur attendait une seconde pour permettre un temps de réflexion (et peut-être de

prédictions), puis il commentait le comportement des objets : « **Plongé dans l'eau, [l'objet] coule [soit *beaucoup, partiellement ou un peu*].** » Les objets ayant été testés étaient une orange, une balle de bois, un poids de cuivre, une cuillère, un canard en caoutchouc et un ballon de baudruche.

- (5) La vidéo présentait ensuite le comportement de quatre objets de volumes semblables, mais de masses différentes, lorsqu'ils étaient plongés dans l'eau. Les objets étaient présentés par le narrateur et ensuite pesés sur une balance électronique avant d'être plongés dans l'aquarium, afin de distinguer les effets de la masse sur la flottabilité. Après quoi le narrateur dictait une règle générale : « **Lorsque des objets ont des volumes semblables, mais des masses différentes, on remarque que plus leur masse est élevée, plus ils ont tendance à couler.** »
- (6) La vidéo présentait ensuite le comportement de trois objets de masses semblables, mais de volumes différents, lorsqu'ils étaient plongés dans l'eau. Les objets étaient présentés par le narrateur et ensuite pesés sur une balance électronique avant d'être plongés dans l'aquarium, afin de distinguer les effets du volume sur la flottabilité. Après quoi le narrateur dictait une règle générale : « **Lorsque des objets ont des masses semblables, mais des volumes différents, on remarque que plus leur volume est élevé, plus ils ont tendance à flotter.** »
- (7) La vidéo se termine avec un dernier mot du narrateur : « *En résumé, nos démonstrations ont permis de voir que le volume et la masse jouent tous les deux un rôle important pour prédire si un objet flottera ou coulera. Pour tenir compte de ces deux propriétés, nous utiliserons le terme *masse volumique*.* » Puis, le narrateur donnait deux exemples, à l'aide d'images prises à partir de la tâche : « *Le plomb, par exemple, a une grande masse volumique et coulera toujours plus que le bois.* » et « *Le polystyrène, quant à lui, a une petite masse volumique et flottera toujours plus que le bois.* »

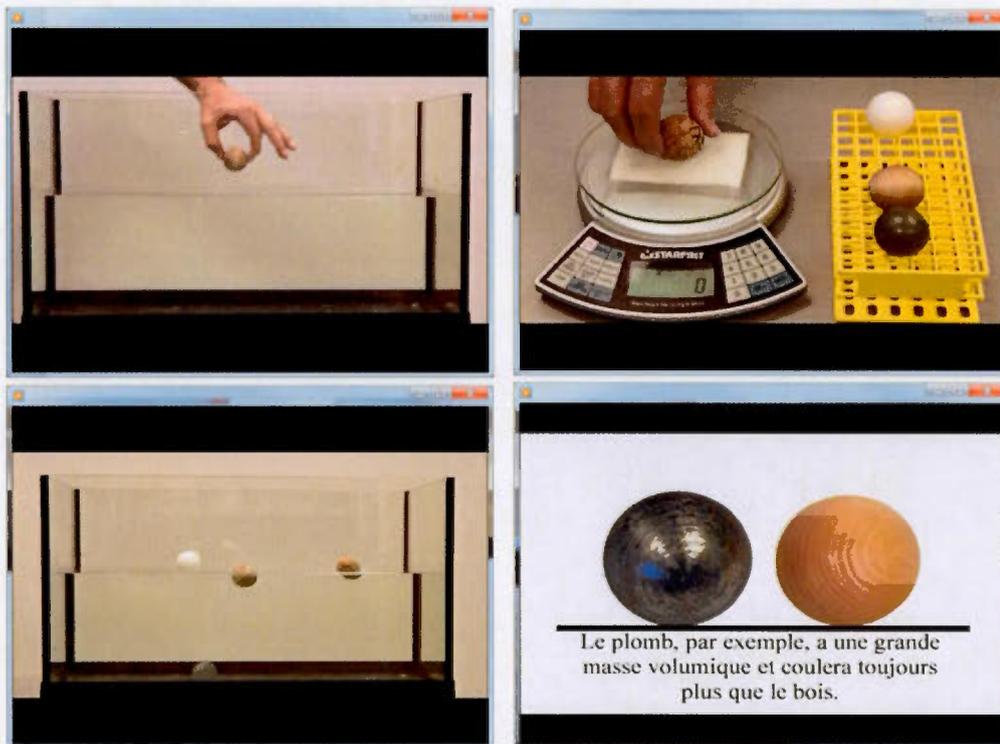


Figure 3.5 Images provenant de la vidéo ET

3.4.2 La vidéo du conflit cognitif (CC)

La vidéo CC, quant à elle, était complètement différente, puisqu'elle avait pour objectif de multiplier le nombre de possibilités de conflits cognitifs pour les participants entretenant la conception initiale que *les objets plus lourds coulent plus*. Nous avons porté une attention particulière afin de nous assurer d'utiliser des négations et des avertissements, contrairement à la vidéo ET. En effet, l'une des caractéristiques principales de la vidéo était de tenter de déclencher une *dissonance* et une *insatisfaction* du sujet de l'étude par rapport à ses conceptions initiales en lui

faisant expérimenter plusieurs événements discordants (voir 2.3.3 Les événements discordants). Cela a été rendu possible en s'assurant que la vidéo CC confrontait les conceptions initiales erronées en montrant plusieurs cas pour lesquels le poids distrayait l'apprenant quant à la conduite réelle des objets utilisés lorsqu'ils étaient plongés dans l'eau. En outre, de courtes pauses, stratégiquement placées, fournissaient aux participants l'occasion de faire des prédictions non divulguées, dont certaines étaient susceptibles d'être contredites lors de la divulgation de la flottabilité réelle des objets testés. La vidéo CC utilisait parfois des exemples évidents (voir caillou/navire ci-dessous) afin d'augmenter la probabilité de conflits cognitifs. La Figure 3.9 (voir ci-après) montre des images de la vidéo du conflit cognitif (CC), dont le synopsis se résume en cinq étapes :

- (1) La vidéo débutait en affichant le titre, qui était également prononcé à voix haute par le narrateur : « *Flotte ou coule? Ce n'est pas toujours ce qu'on croyait au départ...* »
- (2) La vidéo donnait exactement les mêmes explications que la vidéo ET sur la façon dont le comportement des objets serait qualifié lorsque ces derniers seront plongés dans l'eau d'un aquarium (voir Figure 3.2), soit coule *très peu*, *partiellement* ou *beaucoup*.
- (3) La vidéo montrait et décrivait les dessins de deux boîtes de carton fermées côte à côte. Ces boîtes étaient présentées comme contenant des objets différents, dont les poids étaient écrits en dessous d'elles. La voix du narrateur présente la situation problème : « **Commençons. Deux objets se trouvent à l'intérieur de deux boîtes mystères. Un des deux pèse 140 g alors que l'autre pèse 500 g. D'après vous, lequel des deux objets cachés, sera celui qui coulera le plus?** » Puis, les participants étaient invités à prévoir, sans avoir à produire explicitement des réponses, lequel des objets cachés coulerait le plus. Ensuite, sur un deuxième dessin, les deux objets contenus dans les boîtes de carton étaient révélés par le narrateur : « **La boîte de gauche**

contient [un 1^{er} objet] et celle de droite contient [un 2^e objet]. » Enfin, un troisième dessin représentait le couple d'objets plongés dans l'eau et leur comportement était décrit par le narrateur selon la perspective de l'échelle descriptive présentée préalablement, soit coule *très peu*, *partiellement* ou *beaucoup*. Les trois dessins utilisés pour cette démonstration montraient :

- a. Un couple intuitif, soit une orange de 140 g et un poids de cuivre de 500 g (voir Figure 3.6).

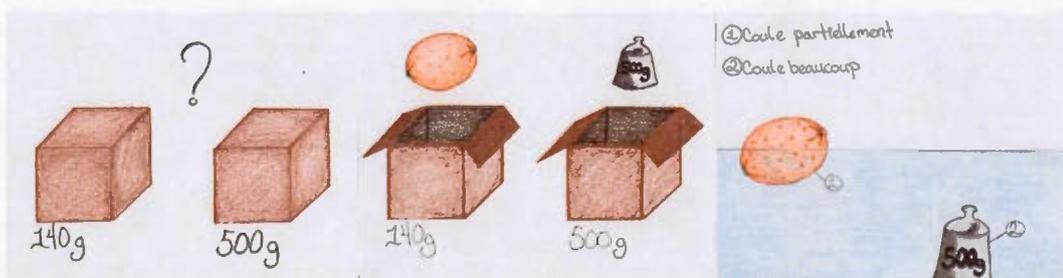


Figure 3.6 Première série de dessins – intuitif

- b. Un couple contre-intuitif, soit une pomme de 140 g et une demi-pomme de 70 g (voir Figure 3.7).

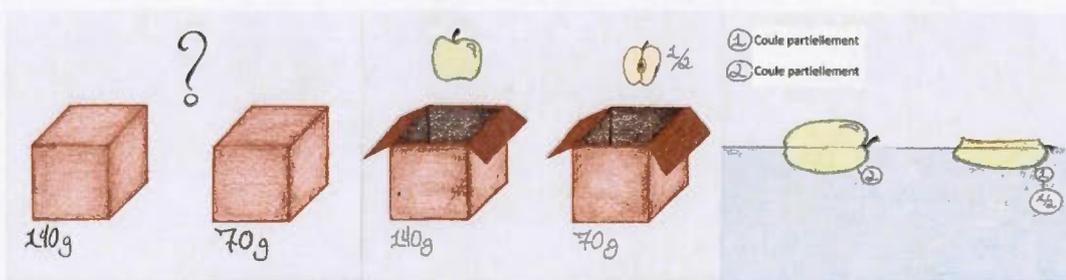


Figure 3.7 Deuxième série de dessins – contre-intuitif

- c. Un couple *profondément* contre-intuitif, soit un navire de 46 millions de grammes et un caillou de 3 g (voir Figure 3.8).

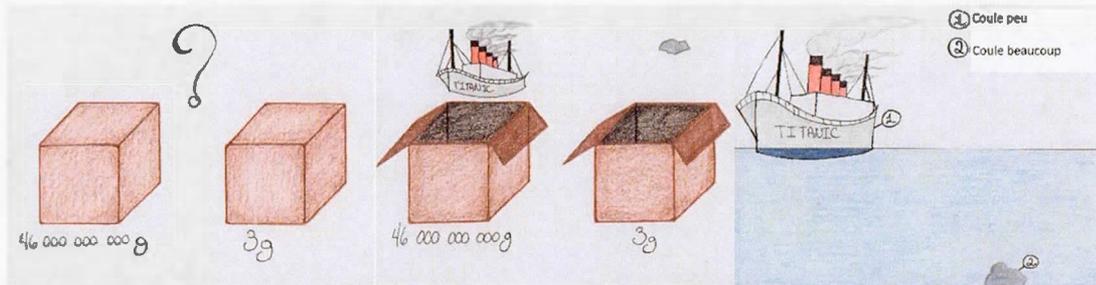


Figure 3.8 Troisième série de dessins – contre-intuitif

(4) La vidéo présentait ensuite dix couples formés à partir d'objets usuels (voir Figure 3.3) qui étaient pesés tour à tour sur une balance romaine afin que les participants puissent voir celui qui pesait plus. Le narrateur commentait : « [Un 1^{er} objet X] et [un 2^e objet Y] sont pesés sur la balance. On remarque que [X] est plus lourd. » Les objets sont ensuite présentés au-dessus de l'aquarium et la voix du narrateur rappelle la situation problème : « Selon vous, lequel des deux coulera le plus ? » Puis, après avoir mis les objets dans l'eau, il donne la réponse en commentant leurs comportements respectifs : « [Un 1^{er} objet X] coule beaucoup, [un 2^e objet Y] coule partiellement. » Les couples d'objets utilisés incluaient :

- a. Bouchon de liège et vis — contre-intuitif
- b. Orange et kiwi — contre-intuitif
- c. Bouchon de liège et poids de cuivre — intuitif
- d. Cube de cuivre et bâton de plastique — contre-intuitif
- e. Balle de liège et balle de bois — intuitif
- f. Balle de plomb et balle de plastique — intuitif
- g. Brique et pomme — intuitif
- h. Demi-pomme et kiwi — intuitif
- i. Quartier de pomme et pomme quasi entière — contre-intuitif

- j. Deux pièces équivalentes de pâte à modeler avec l'une d'entre elles sous la forme d'un petit bateau — contre-intuitif.

(5) La vidéo se termine avec un dernier mot du narrateur : « **En conclusion, on remarque que si le poids nous aide parfois à prédire si un objet va couler, ce n'est pas toujours le cas...** ». Le texte apparaît au même moment.

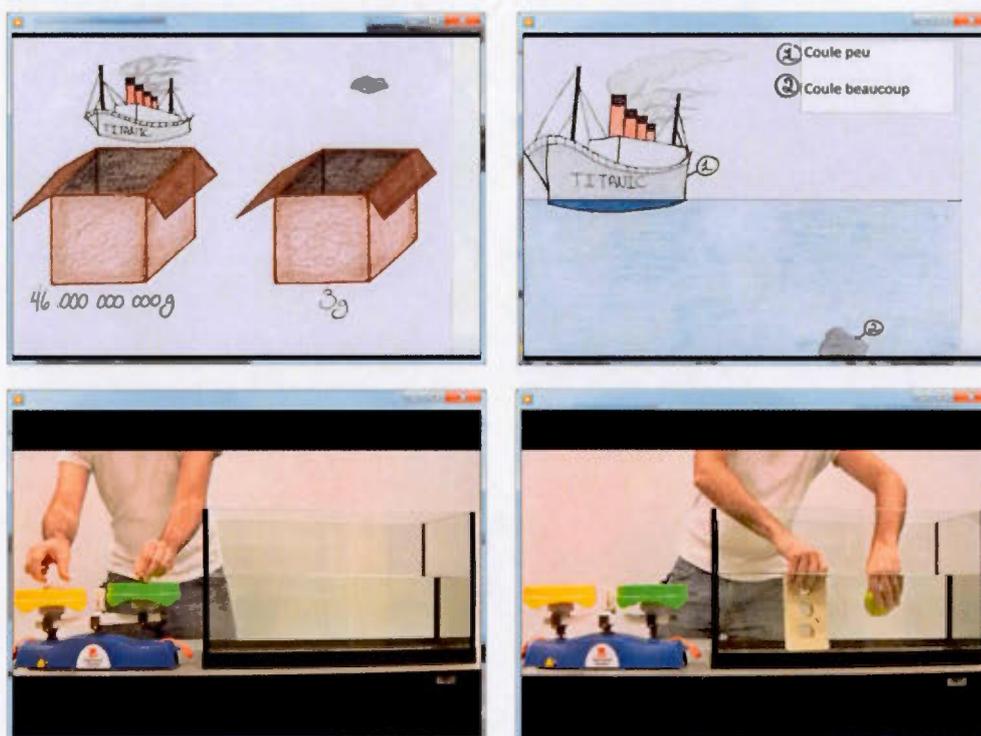


Figure 3.9 Images provenant de la vidéo CC

3.5 Protocole

L'expérimentation se déroula au Centre des sciences de Montréal, plus précisément au *LabUQAM*, selon un schéma bien précis pour chacun des groupes d'élèves participants. Le *LabUQAM* est normalement utilisé comme local de formation pour les futurs enseignants de sciences. Toutefois, dans le cadre de la présente étude, il fut utilisé en tant que local informatique afin que l'expérimentation se passe dans des conditions de laboratoire et les sujets de l'étude furent testés une classe à la fois, par groupes de 29 élèves maximum. Le protocole de collecte de données suivi lors de l'expérimentation fut semblable pour chacun des groupes de participants :

- (1) Dès leur arrivée, les sujets de l'étude étaient invités à choisir librement et calmement un poste informatique après avoir reçu les salutations d'usages.
- (2) Des directives verbales simples et précises d'environ 6 minutes étaient ensuite dictées aux participants par le présentateur (*Erik Sauriol*). Ces instructions furent semblables pour chacun des groupes, puisque le même présentateur répétait les mêmes directives à chaque groupe en utilisant une présentation PowerPoint® (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) comprenant 15 diapositives (voir Appendice B) présentant les objectifs de l'étude, expliquant la procédure et encourageant les sujets à « faire de leur mieux. » pendant l'expérimentation.
- (3) Après une brève période de questions, le présentateur signifiait aux sujets qu'ils pouvaient mettre leurs casques d'écoute individuels et commencer la tâche (voir Figure 3.10).



Figure 3.10 Sujet effectuant la tâche au *LabUQAM*

(4) Chaque élève effectuait ensuite un pré-test (étape 1), regardait une première vidéo (étape 2), regardait une deuxième vidéo (étape 3), puis refaisait le pré-test (posttest, étape 4). Les pré-test et posttest étaient la tâche « Les balles » (voir 3.3 Les tâches) et les vidéos étaient ET et CC (voir 3.2 Traitements). La tâche et les vidéos étaient insérées dans une procédure mise en place à l'aide du logiciel E-prime®¹⁷. Cette procédure permettait, d'une part, d'assurer la continuité de la séquence et, d'autre part, elle contenait des diapositives pédagogiques en plus d'enregistrer automatiquement les interactions des

¹⁷ E-prime® est un logiciel de conception d'expériences servant à présenter diverses informations sur un écran (textes, images, films) ou via des haut-parleurs (sons). Il permet également de recueillir les réponses du participant en lien avec ces informations (classiquement, via le clavier) en contrôlant le déroulement temporel de la présentation des informations et en enregistrant à la milliseconde près le temps mis par le participant pour répondre. (Informations tirées du site Internet officiel d'E-prime®. En ligne. <<http://www.pstnet.com/eprime.cfm>>. Consulté le 15 avril 2015.)

sujets de recherche par rapport à la tâche, y compris les temps de réaction. Ainsi, pour chacun des *stimuli* présentés aux participants, la réponse scientifiquement correcte qui lui est associée était entrée dans un tableau à l'aide d'E-Prime®. À l'aide de cette information, E-Prime® déterminait automatiquement si la réponse donnée par l'élève s'avérait correcte (1) ou non (2).

- (5) Les élèves ayant terminé l'expérimentation restaient assis à leur place jusqu'à ce que l'ensemble des participants ait terminé. Nous les remercions ensuite pour leur participation. L'ensemble du processus durait environ 45 minutes.

Les participants ont ainsi été affectés à l'une des trois conditions possibles (1, 2 ou 3; décrites ci-bas), en fonction de la station d'ordinateur qu'ils ont choisie au hasard quand ils sont arrivés. La répartition des sujets se faisait en trois groupes, représentant les conditions testées lors de la présente étude. Le premier groupe se nomme *Groupe instigateur* (G_i), correspondant à la condition 1. Le deuxième groupe se nomme *Groupe confirmatoire* (G_c), correspondant à la condition 2. Le troisième groupe se nomme *Groupe répétition* (G_r), correspondant à la condition 3. L'attribution des élèves des différentes classes à l'un ou l'autre des trois groupes (G_i , G_c ou G_r) s'est faite de façon aléatoire, selon le choix de leur poste informatique. Les conditions 1, 2 et 3 diffèrent par le choix ou l'ordre des deux vidéos CC et ET. Le Tableau 3.1, ci-après, fournit une description de chacune des conditions, des étapes chronologiques, ainsi que le nombre de participants pour chaque condition. Notez que plusieurs sujets ont été assignés aux conditions 1 et 2 parce que nous avons d'abord soupçonné que des différences significatives entre ces deux conditions seraient un peu plus difficiles à enregistrer et avons programmé un plus grand nombre de stations d'ordinateurs avec lesdites conditions.

Tableau 3.1
Description des conditions

Condition	Nom de la condition	N	Étape 1	Étape 2	Étape 3	Étape 4
1 (G_i)	Modèle <i>classique</i> (CCI)	190	Pré-test	CC	ET	Posttest
2 (G_c)	Modèle de <i>prévalence</i> (CCC)	213	Pré-test	ET	CC	Posttest
3 (G_r)	<i>Répétition</i> de l'enseignement traditionnel (ET)	155	Pré-test	ET	ET	Posttest

L'objectif de ce protocole était d'examiner la performance des trois techniques d'enseignement, soit CCI, CCC et ET par rapport à l'exactitude des réponses et au temps de réaction. La performance sera également mesurée en fonction des trois catégories de *stimuli* utilisées afin de modifier la conception initiale des sujets, soit intuitive, neutre et contre-intuitive.

3.6 Modalités d'analyse des données

Somme toute, à la suite de l'expérimentation menée selon le protocole décrit précédemment (voir 3.3 Protocole), les hypothèses établies préalablement (voir 2.4 Hypothèses de recherche) seront vérifiées selon des modalités d'analyse de données précises. Comme il y a plus de deux groupes à comparer, nous allons analyser et interpréter les résultats à l'aide du test statistique d'analyse de la variance ANOVA. Le test ANOVA a été retenu puisqu'il :

- ❖ réduit le nombre de tests à effectuer, au lieu d'utiliser plusieurs tests T de Student;

- ❖ s'avère plus restrictif, car il représente moins de chances de trouver un résultat significatif par chance;
- ❖ compare des moyennes entre plusieurs groupes, de sorte qu'il peut résister à des différences de tailles entre ces groupes;
- ❖ s'accorde avec notre expérimentation, puisqu'il respecte l'hypothèse de variance de l'échantillon aléatoire.

Nous utiliserons également des tests T de Student lorsque nous effectuerons uniquement des comparaisons entre deux groupes. Les tailles d'effet seront incluses pour tous les tests et discutées.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS, INTERPRÉTATION ET DISCUSSION

Cet avant-dernier dernier chapitre expose avant tout les *méthodes d'analyse des résultats* de notre recherche, s'attardant à les analyser selon l'*exactitude des réponses* et les *temps de réaction* des sujets. Puis, au fur et à mesure de leurs présentations, nous procéderons à l'*interprétation* et à la *discussion* des résultats de notre recherche en les mettant en lien avec les conditions et les *stimuli* utilisés lors de l'expérimentation.

4.1 Méthodes d'analyse des résultats

Les analyses de la présente étude ont été effectuées à l'aide du logiciel statistique SPSS (Kinneer et Gray, 2011). Toutefois, avant de procéder à leur exécution, les observations manquantes ou extrêmes ont été éliminées, puisqu'elles peuvent induire différents biais. Par exemple, un temps de réaction très élevé signifie probablement que le sujet a été distrait pendant l'expérience, qu'il n'avait pas pris la tâche suffisamment au sérieux, qu'il ne comprenait pas suffisamment bien les instructions ou qu'il voulait délibérément fausser les résultats. En outre, une touche du clavier est restée coincée à quelques reprises pendant l'expérimentation. Par conséquent, certains sujets ont enregistré des résultats invraisemblables, avec des diminutions d'exactitudes de 40 points ou encore moins, ou des séquences brusques et longues de réponses similaires. Par conséquent, nous avons effectué un rognage de 5 % (2,5 % à chaque extrémité) des participants. Après une analyse approfondie, nous n'avons pas

déte t  d'autres enregistrements suspects pour les sujets situés à l'intérieur de l'intervalle de normalité présumée de 95 %.

En premier lieu, une analyse descriptive des variables à l'étude a été réalisée. Des statistiques descriptives en lien avec l'exactitude des réponses et les temps de réaction ont été produites (taille de l'échantillon, minimum, maximum, médiane, moyenne et écart-type).

En second lieu, des statistiques descriptives en lien avec les gains d'exactitude des réponses et les gains de temps de réaction seront présentées. Ces gains seront ensuite comparés selon la catégorie de *stimuli* et les différentes conditions dans lesquelles les observations ont été faites. Ensuite, puisque chaque stimulus évalue la même conception erronée et que le temps de traitement s'avère bref (environ 10 minutes [5 + 5]), des tests d'analyse de variance (ANOVA)   1 facteur (utilisant l'information de Fisher [F de Fisher]) seront effectués afin de déterminer si le type de *stimuli* et l'exactitude des réponses ont un effet sur le temps de réponse des élèves. Chacun des *stimuli* sera analysé afin de maximiser les chances d'enregistrer des différences significatives. En effet, nos trois traitements ne diff rent pas beaucoup les uns des autres et donc d'importantes différences ne sont pas à attendre. Enfin, des tests *post-hoc* de comparaisons multiples, tel le test de la plus petite différence significative de Fisher (least significant difference [LSD]), seront effectués. Cela permettra de mesurer la relation entre l'exactitude des réponses des élèves devant des *stimuli* contre-intuitifs et leur temps de réaction. Nous sommes conscients que le choix d'effectuer une analyse sur tous les *stimuli* augmente les chances de percevoir des différences qui seront peut-être sans importance.

Ces trois analyses devraient permettre de répondre aux objectifs de la présente recherche. Ajoutons que pour chaque stimulus, du pré-test et du posttest, l'exactitude des réponses (0 ou 1) a été examinée et les gains d'exactitude ont été calculés

(soustraction du pré-test par le posttest, donnant un résultat de -1, 0 ou 1). Les temps de réaction pour les réponses qui étaient à la fois initialement (pré-test) et finalement (posttest) exactes ont été considérés, puis les accélérations des temps de réaction pour ces réponses bonnes dès le départ ont été calculées. Des sous-analyses pour chaque catégorie de *stimuli* (intuitive, neutre, et contre-intuitive) et pour les trois conditions (*t*-tests) ont été menées. Les graphiques utilisés dans ce chapitre afin de présenter visuellement les résultats de nos analyses sont des histogrammes qui affichent l'erreur type de la moyenne.

4.2 Résultats, interprétation et discussion

Avant même de procéder aux analyses, il s'est avéré utile d'analyser les variables et les données de manière descriptive. Nous nous attarderons donc à l'exactitude des réponses, 0 ou 1, et au temps de réaction des élèves, perçus en secondes au millième de seconde près, qui ont été mesurés dans différentes conditions chez les sujets dont les caractéristiques ont été présentées au dernier chapitre.

D'abord, des statistiques descriptives en lien avec l'exactitude des réponses et le temps de réaction (voir Tableau 4.1) permettent de donner plusieurs informations de base. L'exactitude des réponses est donnée par les valeurs 0 et 1, qui correspondent à des réponses incorrectes ou correctes, respectivement. Cependant, le temps de réaction varie au cours des observations, d'un temps minimum de réponse de 8 ms au temps de réaction le plus élevé de 4978 ms lors du pré-test, puis d'un temps minimum de réponse de 0 ms au temps de réaction le plus élevé de 4986 ms lors du posttest. Ces temps de réaction peuvent être considérés comme tenant compte de données atypiques, même après avoir enlevé 2,5 % des données extrêmes, puisque les réponses sous les 50 ms sont probablement des réponses anticipées, provenant d'un

certain conditionnement, d'un tremblement ou d'une volonté à vouloir répondre vite aux *stimuli*, quitte à se tromper. Pour l'exactitude des réponses, l'écart-type est relativement élevé lors du pré-test (.389), mais légèrement moins élevé lors du posttest (.305), ce qui indique que les observations sont légèrement éloignées de la moyenne dans les deux cas, et qu'il y a une amélioration visible par rapport au nombre de réponses exactes des élèves lors du posttest. Pour les temps de réaction, l'écart-type est très élevé lors du pré-test (687 ms), mais légèrement moins élevé lors du posttest (484 ms), ce qui indique que les observations sont relativement éloignées de la moyenne dans les deux cas et qu'il y a également une amélioration marquée des temps de réaction lors du posttest, ce qui tend à démontrer l'efficacité générale des trois conditions (classique, prévalence, répétition) utilisées lors de l'expérimentation. Nous verrons plus loin si des différences significatives existent entre ces différentes conditions (voir 4.2.1 Exactitude des réponses et 4.2.2 Temps de réaction). La moyenne de l'exactitude des réponses varie peu entre le pré-test (0,81) et le posttest (0,90), ce qui semble dénoter que plusieurs sujets obtenaient déjà des réponses exactes lors du pré-test. Cependant, la moyenne des temps de réaction s'est grandement améliorée entre le pré-test (1064 ms) et le posttest (782 ms) ce qui semble dénoter que la majorité des sujets ont gagné de l'assurance par rapport à l'exactitude de leurs choix de réponses après avoir effectué la tâche. Considérant le rapport entre ces valeurs et les hypothèses proposées au Chapitre II (voir 2.4 Hypothèses de recherche), nous vérifierons plus en détail ces résultats préliminaires.

Tableau 4.1
Statistiques descriptives
en lien avec l'exactitude des réponses et le temps de réaction

	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
Exactitude Pré-test	28 566	0	1	0.81	.389
TR Pré-test	28 253	8	4978	1064	687
Exactitude Posttest	28 573	0	1	0.90	.305
TR Posttest	28 573	0	4986	782	484
N Valide	28 253				

4.2.1 Exactitude des réponses

Les analyses qui suivent auront pour objectif de vérifier la question centrale de cette étude : *Afin de favoriser le changement conceptuel, est-ce que le conflit cognitif devrait être utilisé avant ou après la présentation de nouvelles connaissances scientifiques aux élèves?* Nous avons donc testé notre hypothèse de recherche :

- ❖ *Hypothèse (H)*: La séquence d'enseignement utilisant le conflit cognitif en tant qu'élément *confirmatoire* enregistrera les meilleurs gains (exactitude des réponses) et la meilleure consolidation conceptuelle (accélération des temps de réaction aux réponses déjà correctes au pré-test lors du posttest).
 - H : CCC > CCI et ET

Cette hypothèse semble ne pas avoir été confirmée si nous observons uniquement les gains d'exactitude des réponses selon la condition utilisée (voir Tableau 4.4). Toutefois, nous verrons plus loin que les résultats de notre étude sont plus nuancés qu'il apparaît au départ et que la catégorie de stimulus testé a une grande influence sur les résultats des sujets (voir Figure 4.2).

Le tableau 4.2 présente les statistiques générales quant à l'exactitude des pré-tests et posttests pour chaque catégorie de stimulus. Il fournit également la moyenne des gains d'exactitudes. Des ANOVAs réalisées sur l'exactitude lors du pré-test ($F [2, 28\ 563] = 366.041, p < 0,000$) et sur les gains d'exactitude ($F [2, 28\ 563] = 187.932, p < 0,001, \eta^2_p = 0,013$) démontrent que les différences sont toutes significatives (entre

petites et moyennes selon Cohen [1988]), y compris les tests *post-hoc* pour toutes les différences possibles ($p < 0,001$) au sein des groupes.

Tableau 4.2
Exactitude lors des pré-tests et posttests,
et gains d'exactitude pour chaque catégorie de stimulus

Catégorie de <i>stimuli</i>	N	Exactitude Pré-test (moyenne)	Exactitude Posttest (moyenne)	Exactitude Gains (moyenne)
Intuitif	9522	87 %	91 %	4 %
Neutre	9522	84 %	90 %	6 %
Contre-intuitif	9522	73 %	87 %	14 %*
TOTAL	28 566	81 %	90 %	9 %

Les résultats du pré-test démontrent que les sujets répondaient avec une exactitude étonnamment élevée à notre tâche sur la flottabilité (« flotte/coule »), avec 81 % d'exactitude au pré-test, et que les *stimuli* contre-intuitifs étaient les plus difficiles, suivis par les *stimuli* neutres et intuitifs. Cela suggère que certains sujets étaient distraits et donc probablement « contaminés » par la conception initiale que « des objets plus lourds coulent plus », comme nous l'avions prévu au départ. Malgré les résultats déjà élevés lors du pré-test, l'exactitude des réponses a tout de même augmenté lors du posttest, ce qui suggère qu'un apprentissage ou un renforcement des bonnes conceptions scientifiques déjà présentes s'est produit pendant le traitement. Ce gain a été particulièrement important pour les *stimuli* contre-intuitifs (14 %), ce qui suggère que nos traitements ont effectivement le potentiel de produire des changements conceptuels, et que les sujets n'étaient pas totalement familiers avec les *stimuli* présentés, comme les matériaux des balles utilisées dans la tâche. En effet, il semble que si les participants n'avaient eu aucune connaissance scientifique initiale en lien avec les *stimuli* utilisés, les vidéos auraient eu un effet plus important sur les gains d'exactitude pour les *stimuli* « neutres » et « intuitifs ». Toutefois, ce ne fut pas

le cas, puisqu'une majorité des sujets avaient déjà exploré brièvement le concept de flottabilité préalablement à l'école.

Le Tableau 4.3 présente l'exactitude des réponses lors des pré-tests et posttests pour chaque condition, ainsi que les résultats au test t . La Figure 4.1, quant à elle, illustre les gains d'exactitude entre le pré-test et le posttest pour chacune des conditions. À cet égard, pour chaque condition, des gains d'exactitudes substantiels et significatifs sont enregistrés (entre *petites* et *moyennes* selon Cohen [1988]). Une ANOVA additionnelle réalisée spécifiquement sur l'exactitude lors du pré-test pour les *stimuli* contre-intuitifs pour chacune des trois conditions expérimentales a démontré que les différences entre les conditions n'étaient pas significatives ($F [2, 9519] = 2.561, p = 0,077, \eta^2_p = 0,000$). Cela appuie notre hypothèse selon laquelle chacun des élèves, peu importe la condition à laquelle ils seraient assignés au départ, serait affecté équitablement par leurs conceptions initiales erronées par rapport au concept de flottabilité. Il est toutefois intéressant de noter que le gain d'exactitude est plus grand pour la condition de *Répétition*, ce qui semble démontrer que l'enseignement traditionnel est plus efficace. Nous verrons si c'est vraiment le cas en poursuivant nos analyses.

Tableau 4.3
Exactitude lors des pré-tests et posttests,
et résultats au test t , pour chaque condition

Condition	Pré-test	Posttest	t -test
Classique	82 %	89 %	$t(9,719) = -19.081, p < 0.001, d = 0.18$
Prévalence	81 %	89 %	$t(10,961) = -22.630, p < 0.001, d = 0.20$
Répétition	82 %	91 %	$t(7,883) = -20.241, p < 0.001, d = 0.23$

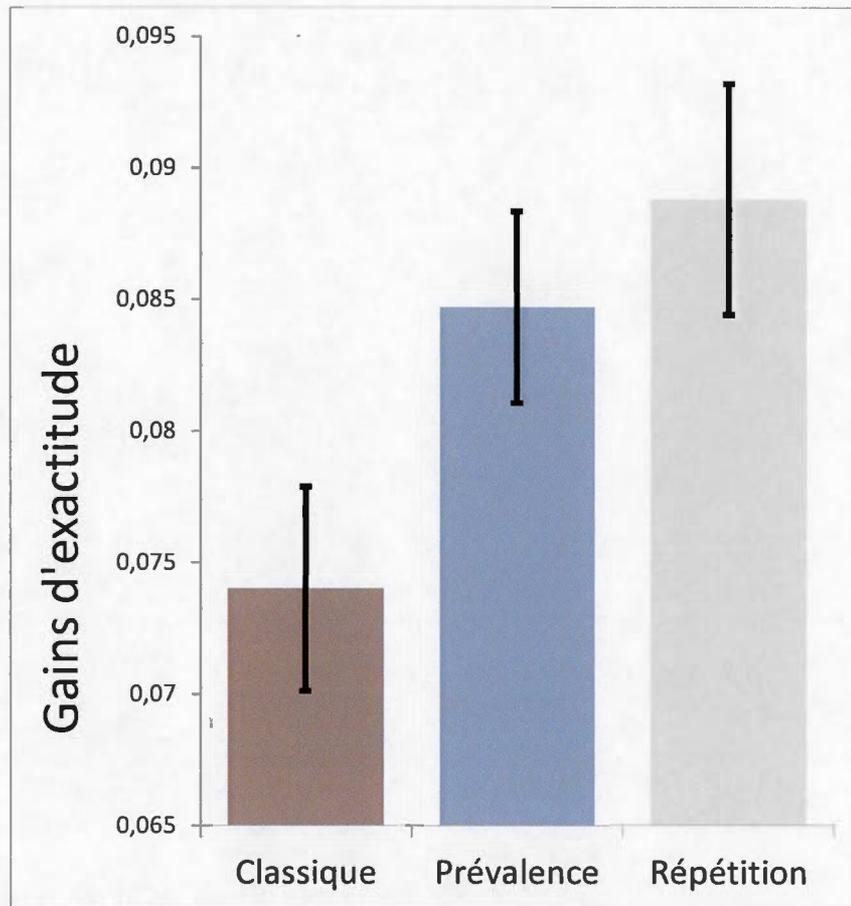


Figure 4.1 Gains d'exactitude pour chaque condition

La Figure 4.2, quant à elle, analyse les gains d'exactitude selon les catégories de *stimuli* (*intuitif*, *neutre* et *contre-intuitif*) et les conditions (*classique*, *prévalence* et *répétition*). Pour chaque catégorie de *stimuli*, une ANOVA a été effectuée afin de tester les gains d'exactitude pour chacune des trois conditions. Les gains différaient significativement uniquement pour la catégorie de *stimuli* contre-intuitifs ($F [2, 9519] = 7.723, p < 0,001, n_p^2 = 0,002$) (*intuitif* : $p = 0,063$; *neutre* : $p = 0,440$); la taille de cette différence significative est en dessous de *petite* (Cohen, 1988). Selon l'analyse *post-hoc* pour cette catégorie, *contre-intuitive*, toutes les différences étaient également significative ($p \leq 0,05$). Toutes les autres analyses *post-hoc* ont été non significative,

à l'exception de la différence entre la catégorie *prévalence* et la catégorie *répétition* pour les *stimuli* intuitifs.

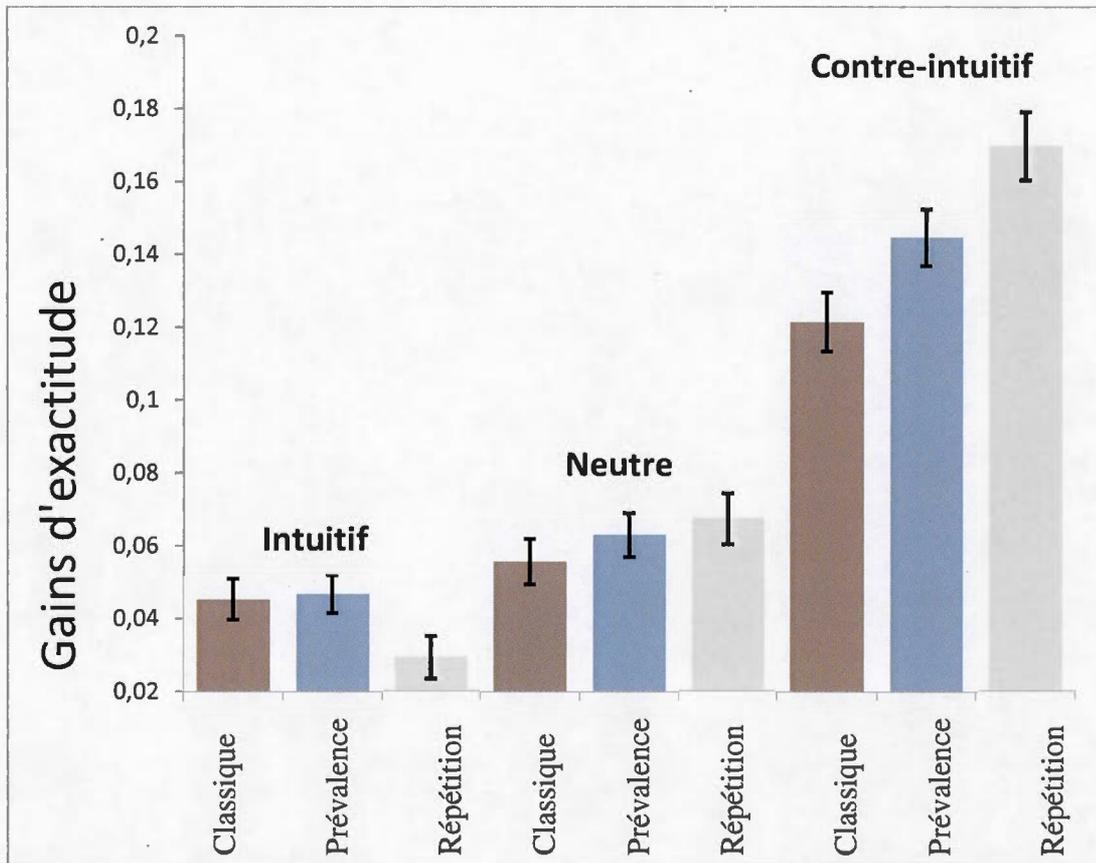


Figure 4.2 Gains d'exactitude pour chaque condition, selon les catégories de *stimuli*

Finalement, on remarque que plus de gains d'exactitude ont été obtenus pour les *stimuli* contre-intuitifs que pour les *stimuli* neutres et intuitifs présentés aux élèves. La Figure 4.2 nous semble éclairante quant à l'hypothèse apparaissant la plus fiable. De prime abord, il semblerait que ce soit l'hypothèse alternative suivante, favorisant l'enseignement traditionnel, qui a obtenu les gains d'exactitude les plus élevés et les plus significatifs, du moins pour sa partie « gains » :

- ❖ *Deuxième hypothèse alternative (H₂)* : La séquence d'enseignement évitant entièrement le conflit cognitif enregistrera les meilleurs gains et la meilleure consolidation conceptuelle.
 - H₂ : ET > CCI et CCC

Ce résultat nous semble inhabituel, si nous le confrontons à la littérature disponible au sein des sciences de l'éducation, puisque la majorité des auteurs encouragent les enseignants à utiliser les conflits cognitifs afin de favoriser les changements conceptuels. Nous discuterons ce résultat à la fin du présent chapitre après avoir présenté l'entièreté de nos résultats. Toutefois, si l'on observe les résultats pour les *stimuli* intuitifs, ce serait plutôt notre hypothèse de départ, favorisant l'enseignement utilisant le modèle de prévalence, qui a obtenu des gains d'exactitude légèrement plus élevés, même s'ils ne sont pas statistiquement significatifs :

- ❖ *Hypothèse (H)* : La séquence d'enseignement utilisant le conflit cognitif en tant qu'élément *confirmatoire* enregistrera les meilleurs gains (exactitude des réponses) et la meilleure consolidation conceptuelle (accélération des temps de réaction aux réponses déjà correctes au pré-test lors du posttest).
 - H : CCC > CCI et ET

De plus, si l'on compare uniquement les stratégies utilisant le conflit cognitif (*classique et prévalence*), il semble que l'utilisation du conflit cognitif *avant la présentation de nouvelles connaissances scientifiques aux élèves*, soit de façon instigatrice (conflit cognitif classique), soit la façon la moins efficace lors de chacune de nos analyses. Nous allons maintenant vérifier, grâce à la variable du *temps de réaction*, si cette tendance se maintient.

4.2.2 Temps de réaction

Les analyses qui suivent auront pour objectif de vérifier si la tendance perçue après l'analyse et l'interprétation des données liées à *l'exactitude des réponses* se maintient lorsque nous interprétons les données liées au temps *de réaction*. Seuls les temps de réaction pour les réponses qui étaient à la fois initialement (pré-test) et finalement (posttest) exactes ont été considérés, puis les accélérations des temps de réaction pour ces réponses bonnes dès le départ ont été calculées.

Le tableau 4.4 présente les statistiques générales quant aux temps de réaction (TR) lors des pré-tests et posttests pour les réponses exactes, et les gains de TR pour chaque catégorie de *stimuli*. Il fournit également la différence des TR entre le pré-test et le posttest, pour les réponses exactes aux deux tests. Des ANOVAs réalisées sur les TR lors du pré-test ($F [2, 23\ 267] = 334.118, p < 0,001, \eta^2_p = 0.028$) et sur les différences de temps de réaction ($F [2, 22\ 195] = 99.410, p < 0,001, \eta^2_p = 0.010$) ont montré que les différences étaient toutes significatives (*petites* selon Cohen [1988]), y compris les analyses *post-hoc* pour toutes les différences possibles ($p < 0,01$) au sein des groupes.

Tableau 4.4
Temps de réaction lors des pré-tests et posttests pour les réponses exactes,
et réduction de temps de réaction pour chaque catégorie de *stimuli*

Catégorie de <i>stimuli</i>	N	TR	TR	TR
		Pré-test (moyenne [ms])	Posttest (moyenne [ms])	Différence (moyenne [ms])
Intuitif	8301	892	705	-195
Neutre	8024	1,140	846	-301
Contre-intuitif	6945	1,096	789	-339*
TOTAL	23 270	1,038	780	-277

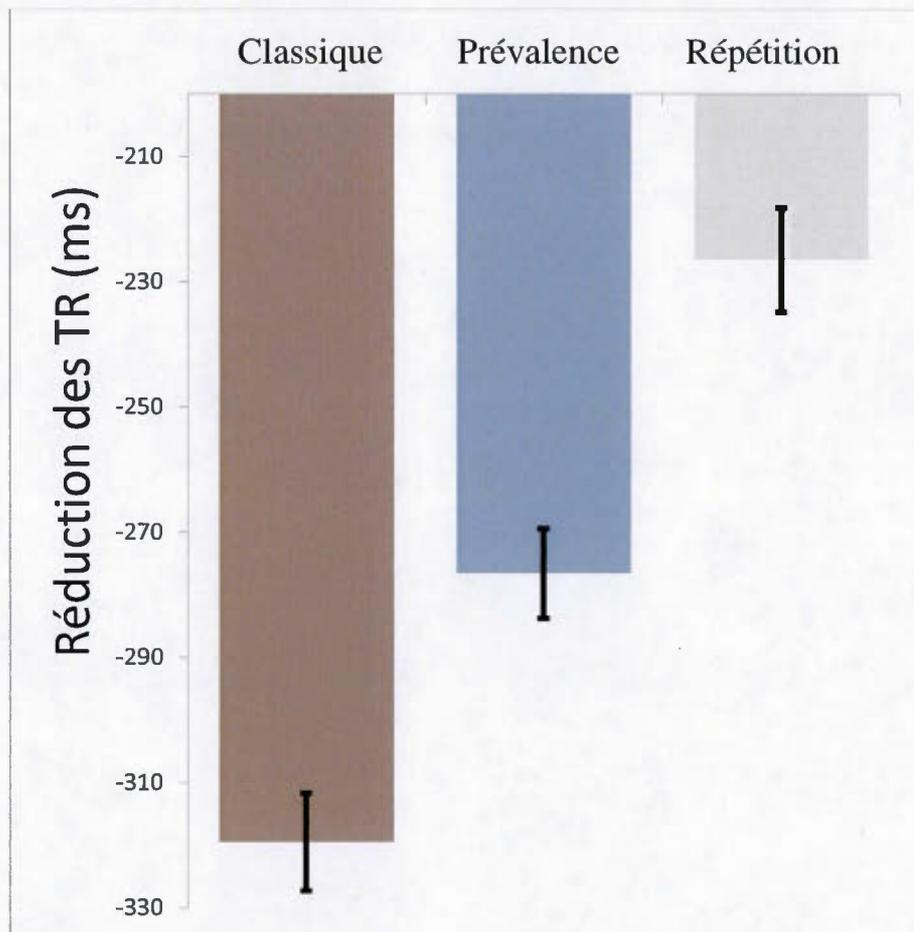
Les résultats du Tableau 4.4 laissent supposer l'existence d'une interférence lorsque les sujets de l'étude répondaient aux *stimuli* contre-intuitifs puisque les temps de réaction étaient significativement plus élevés, suivis des neutres, puis des intuitifs. Cela correspond aux hypothèses de la communauté scientifique selon lesquelles les élèves répondent aux *stimuli* en s'appuyant sur la règle intuitive « plus la taille de la balle est élevée, plus l'objet coulera ». En effet, lorsque les *stimuli* ne présentent pas d'interférence avec cette règle (*intuitifs et neutres*), leur raisonnement est plus rapide. Si au contraire, la règle intuitive mène à une conclusion différente de la réponse scientifique attendue (*contre-intuitifs*), le conflit ainsi créé déclenche de l'interférence et par conséquent un TR plus long et demandant.

Le Tableau 4.5 présente les TR lors des pré-tests et posttests lors de réponses exactes pour chaque condition, ainsi que les résultats au test *t*. La Figure 4.3, quant à elle, illustre les réductions des TR entre le pré-test et le posttest pour chacune des conditions. À cet égard, des réductions de TR significatives sont enregistrées (entre *petites* et *moyennes* selon Cohen [1988]), avec une accélération plus élevée pour la condition *classique* ($d = -0,47$), suivi de la condition de *prévalence* ($d = -0,42$), puis de la condition *répétition* ($d = -0,36$). Une ANOVA additionnelle réalisée spécifiquement sur les TR lors du pré-test pour les *stimuli* contre-intuitifs pour chacune des trois conditions expérimentales a démontré que les différences entre les conditions n'étaient pas significatives ($F [2, 9394] = 0,814, p = 0,443, \eta^2_p = 0,000$), même si la Figure 4.3 nous incite à croire que la condition *classique* a obtenu des réductions supérieures. Toutefois, cette différence n'est pas significative. Cela appuie notre hypothèse de départ selon laquelle chacun des élèves, peu importe la condition à laquelle ils seraient assignés, serait équitablement affecté par leurs conceptions initiales erronées par rapport au concept de flottabilité.

Tableau 4.5

Temps de réaction lors des pré-tests et posttests pour les réponses exactes, et résultats au test t , pour chaque condition

Condition	Pré-test (ms)	Posttest (ms)	t -test
Classique	1,049*	729*	$t(7,571) = 40.771, p < 0.001, d = 0.47$
Prévalence	1,033	756	$t(8,460) = -38.603, p < 0.001, d = 0.42$
Répétition	1,007	781	$t(6,164) = -27.282, p < 0.001, d = 0.36$



· **Figure 4.3** Réduction des temps de réaction pour chaque condition

La Figure 4.4, quant à elle, analyse la réduction des TR pour chaque condition, selon les catégories de *stimuli* (*intuitif*, *neutre* et *contre-intuitif*) et les conditions (*classique*, *prévalence* et *répétition*). Pour chaque catégorie de *stimuli*, une ANOVA a été

effectuée afin de tester les réductions de TR pour chacune des trois conditions. Plus la bande de l'histogramme est basse, plus le TR s'est réduit, ce qui signifie une plus grande *accélération* de réponse et, ce faisant, une meilleure *consolidation*. Les gains différaient significativement pour toutes les catégories de *stimuli* : *intuitif* ($F [2, 8033] = 13.296, p < 0,000$), *neutre* ($F [2, 7680] = 12.209, p < 0,000$) et *contre-intuitif* ($F [2, 6476] = 8.547, p < 0,000$). Selon les analyses *post-hoc*, toutes les différences *contre-intuitives* étaient également significatives ($p \leq 0,05$), sauf pour la différence entre les conditions de *prévalence* et *répétition* pour les *stimuli* contre-intuitifs ($p = 0,061$) et pour les différences entre la condition *prévalence* et la condition *classique* pour les *stimuli* intuitifs ($p = 0,090$).

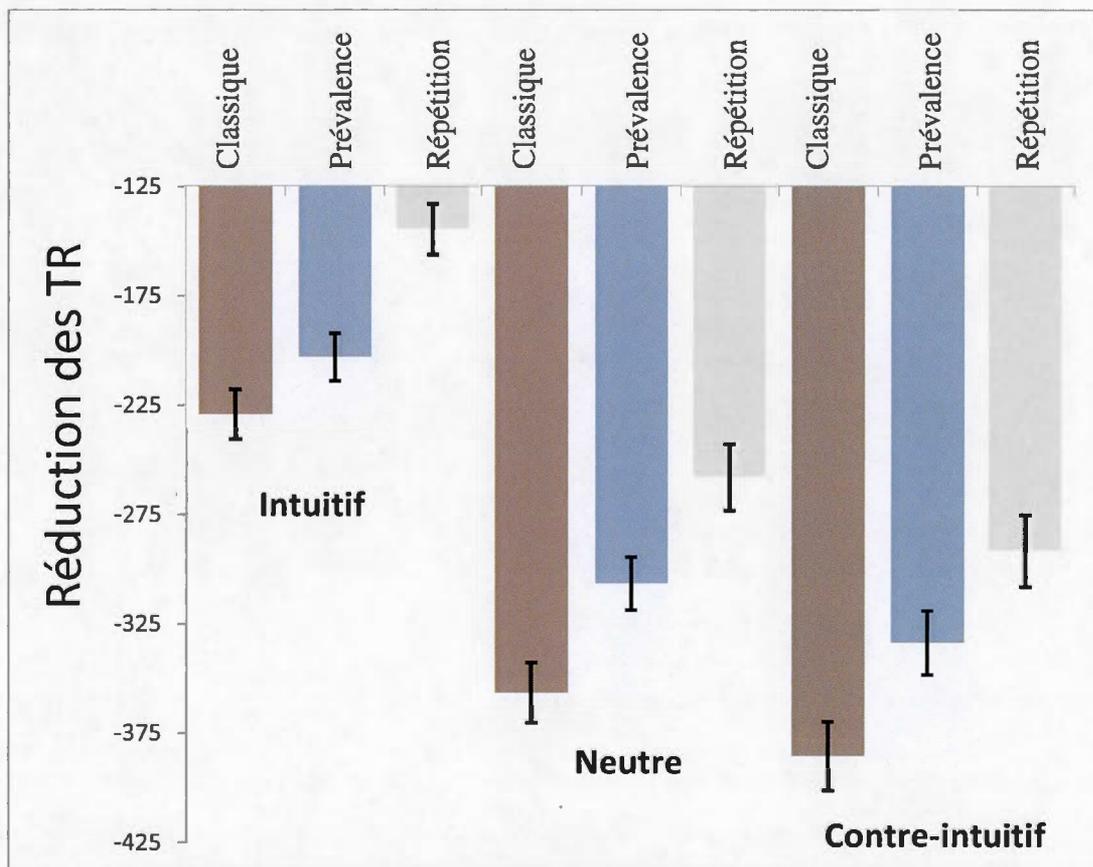


Figure 4.4 Réduction des temps de réaction pour chaque condition, selon les catégories de *stimuli*

En dernière analyse, on remarque que les réductions des TR étaient plus importantes selon la difficulté des *stimuli*. Il est important de se rappeler que le Tableau 4.5 ainsi que les Figures 4.3 et 4.4 (et ANOVAs correspondantes) décrivent les différences de temps de réaction pour les réponses qui étaient déjà exactes au début et qui sont toujours exactes à la fin. Dans ce contexte, la baisse des latences (valeurs négatives et barres des histogrammes plus basses) suggère une meilleure consolidation de l'apprentissage. Et puisque l'accélération de réponses exactes (voir 4.2.1 Exactitude des réponses) ne peut se produire qu'une fois ladite exactitude établie, les résultats de ces tableaux et figures portent uniquement sur des cas où les sujets avaient une conception scientifique déjà correcte depuis le début de l'expérience. Ainsi, les accélérations des TR doivent être lues comme démontrant un meilleur apprentissage des élèves lorsque les valeurs négatives sont plus fortes. Par conséquent, la condition la moins efficace semble être la condition de *répétition*, car elle produit les plus petites accélérations de réponses exactes, et le meilleur traitement devient le modèle *classique* de changement conceptuel, qui présente les meilleures accélérations de réponses correctes. La condition de prévalence se situe entre les deux, ce qui semble confirmer l'hypothèse selon laquelle l'utilisation du conflit cognitif *avant la présentation de nouvelles connaissances scientifiques aux élèves*, soit de façon instigatrice (conflit cognitif classique), serait la façon la plus efficace de favoriser les changements.

Cela entre en contraste avec les résultats obtenus en analysant l'exactitude des réponses. Toutefois, ces différences étaient faibles (Cohen, 1988), bien qu'elles étaient toutes significatives. Ces résultats révèlent à notre avis la vraie faiblesse de la condition de *répétition*, et suggèrent que la majorité des effets positifs que la littérature scientifique a enregistré par rapport à l'utilisation du conflit cognitif pourrait être attribuable à la consolidation (au lieu du « changement ») des bonnes conceptions. Nos résultats montrent également que le début de la séquence

d'enseignement avec la vidéo ET (même si elle a donné de meilleurs résultats au niveau des gains d'exactitude) n'a pas produit les meilleurs résultats pour la consolidation de réponses correctes (réduction des TR). Nous pensons donc que ces résultats suggèrent que, selon le « niveau » conceptuel d'une classe, *le conflit cognitif placé après la présentation aux élèves de nouvelles connaissances scientifiques* pourrait être préférable (*prévalence*) dans le cas où ceux-ci adhèreraient à la conception non-scientifique, tandis que dans le cas où la conception scientifique serait déjà disponible, *le conflit cognitif placé avant la présentation de nouvelles connaissances aux élèves* (classique) devrait être favorisé.

CONCLUSION

Comme décrit dans le premier chapitre de cette recherche, la persistance des conceptions initiales erronées des élèves constitue un véritable obstacle à l'enseignement des sciences. En effet, bien que le processus par lequel les élèves parviennent à surmonter leurs idées intuitives ait été fort documenté, il est encore mal compris (diSessa, 2006). Dans ce contexte, la présente recherche a tenté d'éclairer la problématique entourant l'utilisation du conflit cognitif afin de produire un changement conceptuel en postulant que ce pourrait être au moins partiellement résolu par des questions de séquençage (Scott et coll., 1991). Pour ce faire, 565 élèves de 10 à 11 ans ont répondu à une tâche informatisée présentant des *stimuli* intuitifs, neutres et contre-intuitifs relatifs au concept de flottabilité. Leurs temps de réaction et l'exactitude de leurs réponses, ainsi que les gains qui découlent des traitements ont ensuite été analysés en utilisant différentes combinaisons de séquençage d'événements similaires.

L'expérimentation qui s'ensuivit et l'interprétation des résultats nous ont amenés à deux conclusions. Tout d'abord, nos résultats suggèrent que *le conflit cognitif placé après la présentation de nouvelles connaissances scientifiques aux élèves (prévalence)* pourrait être la manière la plus appropriée d'amener un changement conceptuel chez les apprenants, spécifiquement dans les cas où la connaissance souhaitée ne serait pas disponible initialement. Ainsi, ce résultat appuie l'hypothèse selon laquelle les élèves fournissant d'abord des réponses inexacts bénéficient de l'enseignement traditionnel (ET), suivi par l'expérimentation d'un conflit cognitif. Le conflit cognitif agit ici comme élément *confirmatoire*.

Toutefois, en second lieu, nos résultats suggèrent également que *le conflit cognitif placé avant la présentation de nouvelles connaissances scientifiques (prévalence)*

pourrait être la manière la plus appropriée d'amener un changement conceptuel chez les apprenants qui produisent des réponses exactes depuis le début. Bref, dans ce cas-ci, ceux-ci profitent davantage d'un conflit cognitif *instigateur*.

Par conséquent, nos résultats suggèrent que la plupart des modèles de changement conceptuel qui sont compatibles avec le paradigme de « transformation » (Dreyfus et coll., 1990; S. Kang et coll., 2004; Lee et Byun, 2012; Nussbaum et Novick, 1982; Posner et coll., 1982) auraient plutôt avantage à considérer l'utilisation du conflit cognitif après l'arrivée de nouvelles connaissances.

Cela nous amène à suggérer quelques prescriptions pédagogiques aux enseignants souhaitant produire des changements conceptuels significatifs et durables :

- A) Nous leur conseillons d'adopter le conflit cognitif en tant qu'approche d'enseignement et d'éviter d'amorcer leur enseignement sans tenir compte des conceptions initiales de leurs élèves;
- B) Nous leur conseillons de choisir le séquençage le plus favorable entre l'utilisation du modèle classique, pour les notions où des conceptions erronées ne sont pas à redouter, et l'utilisation du modèle de prévalence, pour les notions où des conceptions erronées sont soupçonnées;
- C) Les enseignants peuvent également choisir de différencier leurs traitements pédagogiques, par exemple, en séparant une classe en deux sous-groupes, et en fournissant l'enseignement traditionnel (ET) à certains élèves, tout en fournissant le conflit cognitif (CC) aux autres et en se déplaçant d'un groupe d'élèves à l'autre; et
- D) Nous croyons également qu'une chose importante que le modèle de prévalence apprend aux enseignants, c'est de devenir plus attentifs à l'importance de la durabilité des apprentissages (à travers nos résultats obtenus en analysant les modifications des temps de réaction).

Notre recherche, bien que produisant des résultats significatifs, présente certaines limites. D'abord, elle réduit l'enseignement à une forme unidirectionnelle d'enseignement. On peut penser, au contraire, qu'un enseignement interactif, plus ressemblant à ce qu'on trouve habituellement, pourrait donner des résultats plus efficaces. Notre traitement pédagogique, par contraste, est en quelque sorte dénaturé pour les besoins d'une expérimentation. Cela limite donc la portée de nos résultats. Ensuite, nous croyons qu'il serait utile de trouver de façons de faire parler les données obtenues lors de réponses inexactes. Pour l'instant, notre recherche ne s'y est pas intéressée. De plus, puisque les tâches utilisées dans le cadre de notre recherche sont organisées séquentiellement, il devenait aisé pour le sujet de peser sur les boutons très rapidement pour aller le plus vite possible.

Certains de nos résultats présentent aussi de très petites magnitudes d'effet. Nous devons donc les interpréter avec prudence. Ces résultats nous invitent cependant à de plus amples recherches qui pourraient explorer les effets d'autres séquençages possibles. Il serait également téméraire d'extrapoler nos résultats à d'autres problèmes conceptuels que celui portant sur la flottabilité. Pour l'instant, nos résultats ne peuvent être interprétés que dans ce contexte. Des pistes de recherche à venir pourraient être proposées sur d'autres contextes que celui de la flottabilité.

Nous sommes aussi conscients qu'habituellement, les processus de changement conceptuels s'étalent sur des durées plus longues que celle que nous avons accordée à nos sujets. On peut donc penser que nos résultats ne traduisent pas des changements complets ou durables. Cependant, nous croyons que ces résultats présentent un grand intérêt en ce sens qu'ils présentent des évolutions observées dans un contexte bien contrôlé.

Nous espérons que cette étude contribuera à établir des ponts entre les recherches portant sur le cerveau et celles conduites dans le champ de l'éducation. Conscients que notre recherche ne constitue qu'un pas dans cette direction, nous espérons tout de

même qu'elle permettra aux enseignants d'améliorer leurs interventions visant à faire évoluer les conceptions et les connaissances scientifiques de leurs élèves.

APPENDICE A

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT



FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT POUR UNE PARTICIPATION À UN PROJET DE RECHERCHE (participant mineur)

TITRE DU PROJET

« Comparaison de l'effet de deux planifications pédagogiques déclenchant des conflits cognitifs à des moments différents sur l'efficacité du changement conceptuel en sciences au primaire »

IDENTIFICATION

Responsable du projet : Erik Sauriol
Programme d'enseignement : Maîtrise en Éducation (3701)
Adresse courriel : sauriol.erik@courrier.uqam.ca
Téléphone : (514) 987-3000 (1290)

BUT GÉNÉRAL DU PROJET ET DIRECTION

Lors de sa visite prochaine au Centre des sciences de Montréal, votre enfant sera invité à prendre part à ce projet de recherche visant à apporter des connaissances nouvelles sur la démarche d'enseignement à privilégier en sciences afin de favoriser l'apprentissage par les élèves du primaire. Ce projet de recherche est réalisé dans le cadre d'un mémoire de maîtrise sous la direction de Patrice Potvin, professeur du département de la Faculté des sciences de l'Éducation. Il peut être joint au (514) 987-3000 poste 1290 ou par courriel à l'adresse : potvin.patrice@uqam.ca.

La direction de l'école de votre enfant ainsi que son professeur ont également donné leur accord à ce projet. La participation de votre enfant contribuera à l'avancement des connaissances dans le domaine de l'apprentissage scolaire.

PROCÉDURE(S) OU TÂCHES DEMANDÉES À VOTRE ENFANT

Avec votre permission et l'accord de votre enfant, ce dernier sera invité à exécuter une tâche informatisée d'un maximum de 24 minutes. Cette tâche comprend des questions à choix multiple, le visionnement d'une vidéo et un post-test à choix multiple.

AVANTAGES ET RISQUES D'INCONFORT

Il n'y a pas de risque associé à la participation de votre enfant à ce projet. Les activités proposées à votre enfant sont similaires à celles qu'il rencontre dans une journée de classe ordinaire. Néanmoins, soyez assuré que le responsable du projet demeurera attentif à toute manifestation d'inconfort chez votre enfant durant sa participation.

ANONYMAT ET CONFIDENTIALITÉ

Il est entendu que les renseignements recueillis auprès de votre enfant sont confidentiels et que seuls le responsable du projet et son directeur de recherche auront accès aux données utilisés pour l'étude. Nous ne retiendrons pas l'identité de votre enfant. Le responsable du projet souhaiterait pouvoir diffuser les résultats de cette étude dans le cadre de conférences scientifiques.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET COMPENSATION

La participation de votre enfant à ce projet est volontaire. Cela signifie que même si vous consentez aujourd'hui à ce que votre enfant participe à cette recherche, il demeure entièrement libre de ne pas participer ou de mettre fin à sa participation en tout temps sans justification ni pénalité. Vous pouvez également retirer votre enfant du projet en tout temps.

Nous offrirons aux classes dans lesquelles se trouvent des élèves participants une visite gratuite au Musée du Centre des sciences de Montréal. Un refus de participer n'entraîne pas la perte de ce privilège.

Votre accord à participer implique également que vous acceptez que le responsable du projet puisse utiliser aux fins de la présente recherche (articles, mémoire, essai ou thèse, conférences et communications scientifiques) les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant d'identifier votre enfant ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre part et de l'accord de votre enfant.

DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?

Vous pouvez contacter le responsable pour des questions additionnelles sur le déroulement du projet. Vous pouvez également discuter avec le directeur de recherche des conditions dans lesquelles se déroulera la participation de votre enfant et de ses droits en tant que participant de recherche.

Le projet auquel vous allez participer a été approuvé sur le plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains. Pour toute question ne pouvant être adressée au directeur de recherche ou pour formuler une plainte ou des commentaires, vous pouvez contacter le Président du Comité d'éthique de la recherche pour étudiants (CÉRPÉ), par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro (514)-987-3000 #1646 ou par courriel à : (savard.josee@uqam.ca).

REMERCIEMENTS

Votre collaboration et celle de votre enfant sont importantes à la réalisation de ce projet et nous tenons à vous en remercier.

COUPON-RÉPONSE

Ce coupon-réponse doit être signé, détaché de la première page et acheminé le plus rapidement possible à l'enseignant de votre enfant.
Vous pouvez conserver la première page recto-verso pour vos dossiers.

AUTORISATION PARENTALE

En tant que parent ou tuteur légal mon enfant, je reconnais avoir lu le présent formulaire de consentement et consens volontairement à ce que mon enfant participe à ce projet de recherche. Je reconnais aussi que le responsable du projet a répondu à mes questions de manière satisfaisante, et que j'ai disposé de suffisamment de temps pour discuter avec mon enfant de la nature et des implications de sa participation. Je comprends que sa participation à cette recherche est totalement volontaire et qu'il peut y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme, ni justification à donner. Il lui suffit d'en informer un membre de l'équipe. Je peux également décider, pour des motifs que je n'ai pas à justifier, de retirer mon enfant du projet.

Cochez l'une des deux options :

- J'accepte que mon enfant participe à la recherche
 - Je n'accepte pas que mon enfant participe à la recherche.
- (Je comprends qu'un refus n'entraîne aucun préjudice)

NOM (en lettres moulées) DE L'ENFANT : _____

Signature de l'enfant : _____ Date : _____

NOM (en lettres moulées) DU PARENT/TUTEUR LÉGAL : _____

Signature du parent/tuteur légal : _____ Date : _____

MERCI !

UQÀM
 Université du Québec à Montréal

APPENDICE B

POWERPOINT UTILISÉ LORS DE L'EXPÉRIMENTATION

Flotte ou coule?

Expérimentation au LabUQAM
Centre des Sciences de Montréal

Mars 2014



« Flotte ou coule », qu'est-ce que c'est ?

- Une activité qui vous permettra de mieux comprendre pourquoi certains objets coulent plus que d'autres...
...mais c'est aussi...
- une expérience de recherche qui permet d'étudier comment les élèves du primaire apprennent

UQAM

« Flotte ou coule », Comment ça se passe ?

1. TEST	3 minutes
2. FILM	4 minutes
3. FILM	4 minutes
4. TEST	3 minutes

UQAM

« Flotte ou coule », Comment ça se passe ?

1. TEST →

2. FILM

3. FILM

4. TEST



UQAM

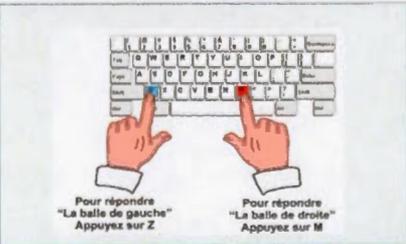
« Flotte ou coule », Comment ça se passe ?

1. TEST →

2. FILM

3. FILM

4. TEST



UQAM

« Flotte ou coule », Comment ça se passe ?		« Flotte ou coule », Comment ça se passe ?	
1. TEST		1. TEST	<p>Faites de votre « mieux »</p>
2. FILM			
3. FILM			
4. TEST			
UQÀM		UQÀM	

« Flotte ou coule », Comment ça se passe ?		« Flotte ou coule », Comment ça se passe ?	
1. TEST	<p>Faites de votre « mieux » pour écouter le film et pour bien le comprendre</p>	1. TEST	<p>Faites de votre « mieux » pour écouter le film et pour bien le comprendre</p>
2. FILM			
3. FILM			
4. TEST			
UQÀM		UQÀM	

« Flotte ou coule », Comment ça se passe ?	
1. TEST	<p>Attention: Ce deuxième film ressemble un peu au premier film. Certains bouts sont même identiques au premier film. Ce n'est pas grave.</p>
2. FILM	
3. FILM	
4. TEST	
UQÀM	

**« Flotte ou coule »,
Comment ça se passe ?**

1. TEST
2. FILM
3. FILM
4. TEST

UQÀM

Chacun son ordinateur

UQÀM

→ Vous pouvez décider d'arrêter à tout moment.
Il suffit de nous le demander.

**NOUS VOUS REMERCIONS DE VOTRE
PARTICIPATION !**

**N'oubliez PAS DE FAIRE DE VOTRE
MIEUX TOUT LE LONG !**

UQÀM



UQÀM

N'oubliez pas de lire et de suivre toutes les
consignes qui apparaîtront bientôt à l'écran
de votre ordinateur.

**Des questions?
Prêts?**



1. Mettez les écouteurs;

et ensuite...

2. appuyez sur la lettre « A »

UQÀM



LISTE DES RÉFÉRENCES

- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1990). *Science for all Americans*. New York : Oxford University Press.
- Astolfi, J.-P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Paris : Éditions ESF.
- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y., et Toussaint, J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences : repères, définitions, bibliographies*. Paris : De Boeck.
- Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B. et Vérin, A. (2006). *Comment les enfants apprennent les sciences* (2e éd.). Paris : Retz.
- von Aufschnaiter, C. et Rogge, C. (2010). Misconceptions or missing conceptions? *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(1), 3-18.
- 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, Montréal, Québec.
- Boilevin, J.-M. et Ravanis, K. (2007). L'éducation scientifique et technologique à l'école obligatoire face à la désaffection : recherches en didactique, dispositifs et références. *Skholê, HS*(1), 5-11.
- Brault Foisy, L.-M. et Masson, S. (2011). Apprendre les sciences, c'est apprendre à inhiber ses conceptions antérieures? *Spectre*, 40(2), 30-33.
- Brophy, J. et Good, T. (1986). Teacher behavior and student achievement. Dans M. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (3e éd., pp. 328–375). New York : Macmillan.
- Chan, C. K. K., Burtis, P. J. et Bereiter, C. (1997). Knowledge-building approach as a mediator of conflict in conceptual change. *Cognition and Instruction*, 15, 1-40.
- Chidsey, J. et Henriques, L. (1996). *Can Parents Effectively Assess Their Children's Ideas about Science?*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. St. Louis, 2 Avril. (ERIC Document Reproduction Service ED396913)
- Committee on Undergraduate Science Education, National Research Council. (1997). Misconceptions as barriers to understanding science. Dans Center for Science, Mathematics and Engineering Education, *Science teaching reconsidered : A handbook*. Washington : National Academy Press, 27-32.
- Conseil de la science et de la technologie (CST). (2002). *La culture scientifique et technique au Québec : Bilan*. Sainte-Foy, Québec : Gouvernement du Québec.

- Conseil Supérieur de l'Éducation (CSE). (1989). *L'initiation aux sciences de la nature chez les enfants du primaire*. Québec.
- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2 et 3), 105-225.
- diSessa, A. A. (2006). A history of conceptual change research : Threads and fault lines. Dans K.Sawyer (ed.), *Cambridge handbook of the learning sciences*. Cambridge : Cambridge University Press, 265-281.
- 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.), *International Handbook of Resarch on Conceptual Change*. New York, NY : Routledge.
- Dreyfus, A, Jungwirth, E. et Eliovitch, R. (1990). Applying the "Cognitive Conflict" Strategy for Conceptual Change – Some Implications, Difficulties, and problems. *Science Education*, 74(5), 559-569.
- Duit, R., et Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Duit, R., et Treagust, D. F., Widodo, A. (2008). Teaching science for conceptual change : Theory and practice. Dans S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of conceptual change* (pp. 629-646). New York, NY : Routledge.
- Dunbar, K., Fugelsang, J. et Stein, C. (2007). Do naïve theories ever go away? Using brain and behavior to understand changes in concept. In M. C. Lovett & P. Shah (Eds.), *Thinking with data : 33rd Carnegie symposium on cognition* (pp. 193-206). Mahwah, NJ : Erlbaum.
- Festinger, L. (1957). *A theory of cognitive dissonance*. Stanford : Stanford University Press.
- Fourez, G. (1994). *Alphabétisation scientifique et technique : essai sur les finalités de l'enseignement des sciences*. Bruxelles : De Boeck Université.
- Fugelsang, J. et Dunbar, K. (2005). Brain-based mechanisms underlying complex causal thinking. *Neuropsychologia*, 43, 1204-1213.
- Giordan, A. et de Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir*. Neuchâtel/Paris : Delachaux et Niestlé.
- Giordan, A., Henriques, A. et Bang, V. (1989). *Psychologie génétique et didactique des sciences*. Berne : P. Lang.
- Giordan, A. et Martinand, J.-L. (1988). « État des recherches sur les conceptions des apprenants à propos de la biologie ». *Annales de Didactique des Sciences*, 2, publications de l'Université de Rouen, 140, 13-68.
- Guzzetti, B. J., Snyder, T. E., Glass, G. V, et Gamas, W. S. (1993). Promoting conceptual change in science : Meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. *Reading Research Quarterly*, 28, 116–161.
- Hasni, A. et J. Lebeaume (2010). *Enjeux contemporains de l'éducation scientifique et technologique*. Ottawa : Les Presses de l'Université d'Ottawa.

- Hulleman, C. S. et Harackiewicz, J. M. (2009). Promoting interest and performance in high school science classes. *Science*, 326, 1410-1412.
- Joshua, S. et Dupin, J.-J. (1999). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Kang, H., Scharmann, L.C., Kang, S. et Noh, T. (2010). Cognitive conflict and situational interest as factors influencing conceptual change. *International Journal of Environmental and Science Education*, 5(4), 383-405.
- Kang, S., Scharmann, L. C., et Noh, T. (2004). Reexamining the Role of Cognitive Conflict in Science Concept Learning. *Research in science education*, 34, 71-96.
- Kavogli, Z. (1993). Discrepant events: An alternative teaching process. *Science Education International*, 3(3), (10-13).
- Kuhn, T. S. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.
- Lafortune, S. (2013). Mémoire de maîtrise inédit.
- Larochelle, M. et Désautels, J. (1991). "Of Course, It's Just Obvious" : Adolescents' Ideas of Scientific Knowledge. *International Journal of Science Education*, 13(4), 373-389.
- Lee, G., et Byun, T. (2012). An Explanation for the Difficulty of Leading Conceptual Change Using a Counterintuitive Demonstration : The Relationship Between Cognitive Conflict and Responses. *Research in science education*, 42, 943-965.
- Lee, G. et Byun, T. (2011). An Explanation for the Difficulty of Learning Conceptual Change Using a Counterintuitive Demonstration- The Relationship Between Cognitive Conflict and Responses. *Research in Science Education* : 1-23.
- Lee, G. et Kwon, J. (2001). *What Do We Know about Students' Cognitive Conflict in Science Classroom : A Theoretical Model of Cognitive Conflict Process*. Paper presented at Annual Meeting of the Association for the Education of Teachers in Science, 18-21 Janvier, Costa Mesa, CA.
- Lee, G., Kwon, J., Park, S.-S., Kim, J.-W., Kwon, H.G. et Park, H.-K. (2003). Development of an instrument for measuring cognitive conflict in secondary-level science classes. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(6), 585-603
- Legendre, M.-F. (2002). Le programme des programmes : le défi des compétences transversales. Dans C. Gauthier et D. Saint-Jacques (Eds.), *La réforme des programmes scolaires au Québec* (pp. 24-57). Sainte-Foy : Presses de l'Université Laval.
- Legendre, R. (2005). *Dictionnaire actuel de l'éducation* (3e éd.). Montréal : Guérin.
- Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change : A critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11, 357-380.
- Lin, J.-Y. (2007). Responses to anomalous data obtained from repeatable experiments in the laboratory. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(3), 506-528.

- Masson, S. (2005). *Effets de l'utilisation de micromondes historiques sur les processus de changement conceptuel en sciences*. Mémoire non publié, Université de Montréal, Montréal.
- Minier, P. et Gauthier, D. (2006). Représentations des activités d'enseignement apprentissage en sciences et liens avec les stratégies pédagogiques déployées par des enseignants du primaire. *Journal International sur les Représentations Sociales*, 3(1), 35-46.
- Novak, J. D., Wandersee, J. H. et Mintzes, J. J. (1994). Research on alternative conceptions in science. Dans D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). Macmillan.
- Nussbaum, J. (1989). Classroom conceptual change : philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11(5), 530-540.
- Nussbaum, J. et Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11(3), 183-200.
- OCDE. (2006). *Évolution de l'intérêt des jeunes pour les études scientifiques et technologiques*. Rapport d'orientation. Forum Mondial de la Science. Téléchargé le 16/01/2012 à partir de l'URL : <www.oecd.org/dataoecd/60/24/37038273.pdf>
- OCDE. (2007). *Les compétences en sciences, un atout pour réussir, volume 1 — Analyse des résultats*. Paris : OCDE.
- OCDE. (2009). *Green at Fifteen? How 15-year-olds perform in environmental science and geoscience*. Paris : OCDE.
- Ohlsson, S. (2009). Resubsumption : A possible mechanism for conceptual change and belief revision. *Educational Psychologist*, 44(1), 20-40
- Osborne, J. et Dillon, J. (2008). *Science education in Europe : Critical reflections*. London : The Nuffield Foundation.
- Piaget, J. (1974). *La psychologie de l'intelligence*. Paris : Armand Colin.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. et Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception : Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Potvin, P. (1998). *État de la question de la problématique du conflit cognitif en sciences au secondaire*. Mémoire de maîtrise inédit, Université du Québec à Montréal, Montréal.
- Potvin, P. (2011). *Manuel d'enseignement des sciences et de la technologie : Pour intéresser les élèves du secondaire*. Québec : Multimondes.
- Potvin, P. (2013) Proposition for improving the classical models of conceptual change based on neuroeducational evidence : Conceptual prevalence. *Neuroeducation*, 1(2), 16-43.
- Potvin, P., Masson, S., & Cyr, G. (2014). La persistance de conceptions non-scientifiques portant sur la flottabilité chez les enseignants en sciences : Une étude basée sur les temps de réaction. Paper presented at the Quatrième colloque scientifique de l'Association pour la recherche en

- neuroéducation/Fourth scientific symposium of the Association for research in neuroeducation, Caen, FRANCE.
- Potvin, P., Masson, S., Lafortune, S., & Cyr, G. (2015). Persistence of the intuitive conception that heavier objects sink more : A reaction time study with different levels of interference. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(1), 21–34.
- Psychology Software Tools, Inc. (2015). *E-prime® overview*. En ligne. <<http://www.pstnet.com/eprime.cfm>>. Consulté le 15 avril 2015.
- Reuter, Y., Cohen-Azria, C., Daunay, B., Delcambre, I. et Lahanier-Reuter, D. (2007). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. Bruxelles : De Boeck.
- Rey, A. et Robert, P. (dir. publ.). (2008). *Le Robert encyclopédique des noms propres 2009*. Paris : Le Robert.
- Rowell, J.A. et Dawson, C.J. (1983). Laboratory counterexamples and the growth of understanding of science. *European Journal of Science Education*, 5(2), 203-215.
- Schroeder, C., Scott, T., Tolson, H., Huang, T.-Y. et Lee, Y.-H. (2007). A meta-analysis of national research : Effects of teaching strategies on student achievement in science in the United States. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(10), 1436-1460.
- Scott, P. H., Asoko, H. M. et Driver, R. H. (1992). Teaching for conceptual change : A review of strategies. Dans R. Duit, F. Goldberg et H. Niedderer (Eds), *Research in Physics Learning : Theoretical Issues and Empirical Studies*. The Proceedings of the International Workshop. (University of Bremen, Germany, March 5-8, 1991), Kiel, Allemagne, 310-329.
- Stavy, R. et Babai, R. (2008), Complexity of Shapes and Quantitative Reasoning in Geometry. *Mind, Brain, and Education*, 2, 170–176.
- Thouin, M. (1998). Que peuvent nous apprendre les conceptions en sciences de la nature? *Québec français*, 110, 48-50.
- Thouin, M. (2001). *Notions de culture scientifique et technologique : concepts de base, percées historiques et conceptions fréquentes*. Québec : Éditions Multimondes.
- Tirosh, D., Stavy, R. et Cohen, S. (1998). Cognitive conflict and intuitive rules. *International Journal of Science Education*, 20 (10), 1257-1269.
- Tsai, C.-C. et Wen, M. L. (2005). Research and trends in science education from 1998 to 2002 : A content analysis of publication in selected journals. *International Journal of Science Education*, 27(1), 3-14.
- UNESCO. (1993). *World science report*. Paris : UNESCO.
- UNESCO. (2010). *World science report*. Paris : UNESCO.