

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

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

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN ÉDUCATION

PAR
MARIANNE DUROCHER

LE RAISONNEMENT SCIENTIFIQUE DES ADOLESCENTS DE QUATRIÈME
SECONDAIRE. CHANGEMENT CONCEPTUEL EN CONTEXTE DE
SITUATION-PROBLÈME SUR LES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES DE LA
FLOTTAISON ET DE LA LUMIÈRE

MAI 2009

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

Résumé

L'auteure étant enseignante de sciences et technologie au secondaire, elle s'intéressait au niveau de développement des habiletés de raisonnement scientifique des élèves. Le raisonnement scientifique réfère aux processus mentaux utilisés pour raisonner sur des contenus scientifiques, s'engager dans des activités typiquement scientifiques ou des types de raisonnement spécifique fréquemment utilisés en sciences (Dunbar et Fugelsang, 2005). Le but de cette recherche était de dégager et d'analyser les raisonnements scientifiques réalisés par des élèves de quatrième secondaire sur les phénomènes physiques de la flottaison et de la lumière. Les phénomènes physiques ont été abordés par l'entremise de situations-problèmes. L'utilisation de situations-problèmes avait pour but la génération d'hypothèses et d'explications sur les phénomènes proposés.

La collecte de données a été réalisée en deux périodes distinctes, une période consacrée à chacun des phénomènes physiques. Soixante-quatre élèves de quinze et seize ans, provenant de deux classes de quatrième secondaire, ont participé à la collecte des données. Trois situations-problèmes ont été présentées aux élèves dans le questionnaire traitant de la flottaison et six autres pour le questionnaire portant sur les comportements de la lumière. Les collectes de données ont été réalisées durant des cours de sciences, pour favoriser des conditions et un environnement de recherche semblables à la réalité quotidienne des élèves en classe de sciences.

Les réponses des élèves ont été soumises à une analyse de contenu et les catégories ont été induites du contenu des réponses. Les réponses de chaque situation-problème ont été analysées en classant les réponses par concepts scientifiques (masse, volume,

pression, angle, etc.) ou par types d'explication scientifique (variation de la distance, rapport poids-surface, etc.).

L'analyse des données a permis d'identifier des raisonnements scientifiques dans les réponses des élèves. Pour le questionnaire traitant de la flottaison, les raisonnements scientifiques produits ont été distincts pour chaque situation-problème. Au contraire, pour le questionnaire sur les comportements de la lumière, certaines tendances de raisonnement scientifique ont été retrouvées dans l'ensemble des situations-problèmes. Ces raisonnements scientifiques peuvent être expliqués principalement par un transfert analogique, mais aussi par la production d'hypothèses et la réutilisation des connaissances.

Les résultats de la recherche soulèvent des interrogations sur les processus du raisonnement scientifique, mais aussi par rapport à son niveau de développement chez l'adolescent. De ce fait, la conclusion dégage les implications pédagogiques de cette recherche.

Table des matières

Résumé.....	ii
Introduction.....	2
1. Problématique.....	5
1.1.1. Étude sur le raisonnement scientifique.....	9
1.1.2. Les différents contextes de recherche pour l'étude du raisonnement.....	10
1.1.3. Les études développementales du raisonnement scientifique.....	11
1.1.4. Diverses études traitant de la flottaison et des comportements de la lumière	13
1.2. Habiletés cognitives et vie quotidienne.....	16
1.3. Problème de recherche.....	17
1.4. Questions de recherche et objectifs de la recherche.....	17
1.4.1. Questions de recherche.....	17
1.4.2. Objectifs de la recherche.....	18
2. Cadre conceptuel.....	19
2.1. Le raisonnement scientifique.....	20
2.2. Le raisonnement scientifique comme résolution de problème.....	21

2.3. Habiletés spécifiques reliées au raisonnement scientifique	22
2.3.1. L'expérimentation et le contrôle des variables	22
2.3.2. L'évaluation d'évidences	23
2.3.3. La recherche, la génération et la sélection d'hypothèse	25
2.4. Tâche complexe ou approches intégrées	25
2.5. Types de raisonnement	26
2.5.1. Raisonnement déductif	26
2.5.2. Raisonnement inductif	28
2.5.3. Raisonnement analogique	28
2.5.4. Raisonnement causal	31
2.6. Conceptions, représentations et modèles mentaux : les assises du changement conceptuel	32
2.6.1. Conceptions	32
2.6.2. Représentations	36
2.6.3. Modèles mentaux	37
2.6.4. Conflit cognitif, moteur du changement conceptuel?	37
2.7. Processus de changement conceptuel	38
2.7.1. Échecs du changement conceptuel	40

2.7.2. Enseignement et changement conceptuel	41
2.8. Changement conceptuel : d'autres perspectives.....	42
2.9. Problèmes et résolution de problèmes.....	44
2.9.1. Types de problèmes	44
2.9.2. Situation-problème et apprentissage basé sur les problèmes.....	46
2.9.3. Résolution de problèmes et problématisation.....	48
2.10. Développement cognitif et habiletés de raisonnement des adolescents	50
2.10.1. Développement cognitif.....	50
2.10.2. Habiletés de raisonnement en fonction du développement	51
3. Méthode.....	55
3.1. La recherche en didactique des sciences	56
3.2. Type de recherche	57
3.3. Échantillonnage.....	57
3.4. Collecte des données	58
3.5. Outils de collectes de données	59
3.6. Méthode d'analyse des données.....	63
3.6.1. Les étapes de l'analyse de contenu	63

3.6.2. L'analyse de contenu de la recherche.....	64
3.6.3. Critères de scientificité et distanciation.....	66
4. Analyse.....	69
4.1. Analyse - Questionnaire sur la flottaison	70
4.1.1. Ça flotte ou ça coule? Explications scientifiques de la flottaison.....	70
4.1.2. Réponses des sujets pour le questionnaire sur la flottaison.....	73
4.2. Analyse – Questionnaire sur la lumière	84
4.2.1. Explications scientifiques des phénomènes lumineux.....	84
4.3. Expérimentations et enregistrements sonores	115
5. Discussion	116
5.1. Situations-problèmes sur la flottaison.....	117
5.2. Situations-problèmes sur le comportement de la lumière	120
5.3. Réponses des sujets parallèlement à la théorie scientifique.....	123
5.4. Réutilisation des connaissances et conceptions des élèves	125
5.5. Pensée formelle, production d'hypothèses et capacité d'abstraction.....	126
5.6. Transfert de connaissances et de conceptions : un transfert analogique ?	128
5.7. Raisonnement déductif et raisonnement inductif.....	132

5.8. Changement conceptuel et raisonnement scientifique	133
5.9. Réponse aux questions et aux objectifs de la recherche.....	134
5.9.1. Questions de recherche	134
5.9.2. Objectifs de la recherche	134
6. Conclusion.....	136
6.1. Et si c'était des modèles mentaux ?	138
6.2. Raisonnement scientifique et développement cognitif.....	139
6.3. Raisonnement scientifique et programme de formation de l'école québécoise	139
6.4. Implications didactiques.....	140
7. Références	142
8. Appendices	152

Liste des figures

Figure 1 Force d'Archimède et poids de l'objet	72
Figure 2 Illustration de la question 1 – Questionnaire sur la flottaison	74
Figure 3 Illustration de la question 2 – Questionnaire sur la flottaison	77
Figure 4 Illustration de la question 1 – Questionnaire sur la lumière	86
Figure 5 Schéma du sujet A20 pour expliquer la taille de l'ombre dans la mise en situation 1	88
Figure 6 Illustration de la question 2 – Questionnaire sur la lumière. Tirée de Métioui et al., 2002.....	89
Figure 7 Illustrations de la question 3 – Questionnaire sur la lumière.....	92
Figure 8 Schémas des sujets B4 et B13 pour montrer la portion éclairée dans la question 3 du questionnaire sur la lumière.....	95
Figure 9 Illustration de la question 4 – Questionnaire sur la lumière	96
Figure 10 Illustration de la question 5 - Questionnaire sur la lumière.....	102
Figure 11 Schéma du sujet B23 pour expliquer les positions relatives du Soleil, de la Terre et de la Lune	104
Figure 12 Schémas des sujets A18, A20 et A24 montrant la Terre faisant ombrage à la lumière du Soleil	105

Figure 13 Schémas des sujets A25, B11 et A15 expliquant la forme de la Lune par la lumière du Soleil	107
Figure 14 Schémas des sujets B23, A1 et A18 situant la position de l'observateur sur la Terre	109
Figure 15 Illustration de la question 6 - Questionnaire sur la lumière.....	111
Figure 16 Schémas des sujets A8 et B20 expliquant la réduction du champ de vision par le rapprochement de l'observateur par rapport au miroir	112
Figure 17 Schémas des sujets A18, A3 et A20 expliquant l'augmentation de la taille du champ de vision par les angles des rayons lumineux.....	114

Remerciements

Pour m'avoir conseillée, accompagnée et encouragée au cours de ce long processus qu'à été le mien, je me dois de remercier du fond du cœur mon directeur de recherche, Monsieur Rodolphe Toussaint. Merci d'avoir cru en moi. Merci pour tout le temps que vous m'avez consacré. Merci aussi pour toutes ces discussions sur le monde de l'éducation et de l'enseignement qui m'ont fait réfléchir et qui me resteront toujours en mémoire.

Merci à mon amoureux, Yan, pour sa patience et sa compréhension dans les moments difficiles. Merci à ma famille et particulièrement à mes parents, Lorraine et Gaston, qui m'ont toujours soutenue. Merci à toutes mes amies pour leur présence et leurs encouragements.

Merci aux élèves de quatrième secondaire pour leur participation et leur engagement dans cette recherche. Un merci tout spécial à Madame Johanne Proulx, enseignante, ainsi qu'à Sandra-Kim Dubois pour son travail de transcription.

Introduction

Introduction

L'enseignement et l'apprentissage. D'un côté la volonté des enseignants de permettre à l'élève d'apprendre le plus et le mieux possible. De l'autre, les difficultés rencontrées par les élèves de tous les niveaux lors de l'apprentissage de concepts scientifiques. Mais au-delà des savoirs, des concepts et des connaissances enseignés en classe de sciences, que reste-t-il ? De vagues souvenirs d'expériences nébuleuses et d'exercices trop compliqués ? Des connaissances floues sur les phénomènes chimiques, physiques et biologiques ?

Bien que la réforme du système scolaire québécois tente un virage vers les compétences, les savoirs-faires et les attitudes de l'élève, on peut se demander quelles sont les finalités de l'enseignement des sciences au Québec. Le système scolaire québécois peut-il faire une différence dans le développement des jeunes, en particulier en classe de sciences ? Plus qu'un simple enseignement de savoirs et de connaissances, l'enseignement et l'apprentissage des sciences devrait permettre un développement optimal de l'élève.

Comment faire alors pour favoriser l'émergence et le développement d'habiletés cognitives comme diverses habiletés de raisonnement, de résolution de problèmes, de logique, de modélisation ou d'expérimentation ? Ces habiletés cognitives pourront ensuite être utilisées par l'élève dans plusieurs sphères de sa vie.

À partir de ces réflexions, la chercheuse s'est intéressée aux habiletés de raisonnement scientifique des élèves du secondaire. Mais avant de s'interroger sur les manières de promouvoir le développement du raisonnement scientifique et des habiletés cognitives qui y sont rattachées, il importe de vérifier le niveau de développement du raisonnement scientifique d'élèves du secondaire.

Le raisonnement scientifique requiert deux champs d'intérêt pour être étudié : la didactique des sciences et les sciences cognitives. L'auteure de l'étude étant elle-même enseignante, cette recherche se rapprochera plus de l'épistémologie de la didactique des sciences.

Ces deux domaines seront différenciés dans le premier chapitre traitant de la problématique. Ensuite, un survol des recherches sur l'apprentissage des sciences et le raisonnement scientifique sera effectué. Les différentes méthodologies utilisées, les contextes, les problèmes à cerner et différents résultats seront décrits. Le but est de mieux comprendre les différents horizons de recherche sur le raisonnement scientifique, pour ensuite souligner un problème particulier de recherche.

Le cadre conceptuel comportera trois sections majeures, premièrement une traitant du raisonnement scientifique, les habiletés intellectuelles qui y sont reliées et des divers types de raisonnement. Ensuite, le changement conceptuel sera explicité par différentes approches et définitions, pour ensuite tenter d'en expliquer les processus et leur portée pédagogique. Finalement, le développement cognitif de l'enfant à l'adolescent sera expliqué, pour ensuite souligner certaines habiletés reliées à cette période du développement.

Le chapitre sur la méthodologie décrira cette étude en situant son type et sa nature, puis en expliquant les différentes méthodes utilisées pour la collecte de données et d'analyse des résultats.

Suite à l'analyse des données, les résultats seront discutés en lien avec les différents concepts et théories expliqués dans le cadre conceptuel, principalement à l'aide du concept de raisonnement scientifique, des types de raisonnement et du domaine du changement conceptuel et des conceptions.

Finally, the conclusion will highlight possible avenues for the results of this research, either pedagogical repercussions, future research but primarily the questions and possibilities of future research related to scientific reasoning and adolescents.

1. Problématique

1. Problématique

Dans tous les domaines d'études, l'apprentissage est un phénomène complexe qu'il est difficile de décrire avec précision. Aucune technique d'enseignement n'est infaillible pour assurer la compréhension des élèves d'un nouveau concept, d'une loi ou d'un principe. L'enseignement des sciences n'y fait pas exception et est peut-être même plus complexe.

L'enseignement et l'apprentissage peuvent être étudiés selon différentes approches ou domaines de pensée. Le cognitivisme étudie l'apprentissage et la pensée humaine en se centrant principalement sur l'individu, ses représentations, le changement conceptuel ou ses habiletés cognitives. L'apprentissage peut aussi être expliqué par l'approche socioculturelle, qui soutient que les apprentissages sont modelés par les relations sociales entre les individus et les contextes d'apprentissage. Mais la reconnaissance de la nature sociale de l'acquisition et de l'utilisation des connaissances n'implique pas de dénigrer les représentations de l'individu et ses expériences. Au contraire, il est possible d'étudier les fonctions cognitives d'individus, en tenant compte de l'environnement tant physique que social. Relier ces deux approches permet de dresser un portrait plus exact de la réalité, et d'étudier l'apprentissage et ses mécanismes dans toute sa globalité. De plus, dépendamment de la situation, les habiletés cognitives utilisées pourront être différentes et utilisées à des niveaux plus ou moins supérieurs. La description du contexte et de l'environnement social pourrait même permettre une analyse plus approfondie de la cognition des individus.

Au cours de leur parcours scolaire, les élèves du système scolaire québécois bénéficieront de cours de sciences et technologie à chacune de leurs années d'étude. Durant ces années, ils verront défiler nombre de concepts et connaissances sur

plusieurs domaines scientifiques, des sciences naturelles à la biologie, en passant par la chimie et les phénomènes physiques comme l'électricité et la mécanique. Cependant, nombre de ces concepts ou connaissances ne deviendront que de vagues souvenirs au cours des années. Mais plus que des connaissances déclaratives, les élèves devraient acquérir au cours de leur formation scolaire des habiletés cognitives qui pourront leur servir tout au long de leur vie.

Malgré tous les moyens et techniques disponibles pour un enseignant de sciences, aucune méthode n'est parfaite et n'assure de compréhension totale. L'apprentissage est un processus long et difficile et malgré les stratégies didactiques telles la modélisation, l'expérimentation, l'apprentissage coopératif ou la découverte, il n'en demeure pas moins que l'apprentissage des sciences est laborieux pour certains élèves et n'aboutit pas toujours au but voulu. L'apprentissage des sciences est habituellement expliqué comme un ou des changements au niveau des conceptions et un réarrangement des connaissances préalables de l'élève (Chi, 2005; Joshua et Dupin, 1993; Kuhn, Amsel et O'Loughlin, 1988; Vosniadou, Kayser, Champesme, Ioannides et Dimitrakopoulou, 1999; Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou et Papademetriou, 2001).

L'apprentissage des sciences et de la technologie est un amalgame. D'un côté, des connaissances déclaratives, des faits, des lois, règles et principes scientifiques. Par exemple, savoir reconnaître des unités de courant électrique, comprendre et appliquer la loi d'Ohm ou les lois de la physique Newtonienne. Ce sont les connaissances de domaines spécifiques (Zimmerman, 2000), connaissances dans des domaines précis comme la physique, la biologie, la chimie.

De l'autre côté, les connaissances de domaine général sont des stratégies ou des habiletés qui peuvent se retrouver dans plusieurs domaines scientifiques, comme des habiletés de résolution de problème. Si un élève est habilité à résoudre des problèmes

numériques d'électricité, il devrait pouvoir faire de même pour un problème de chimie. Ces habiletés et stratégies sont nombreuses : savoir observer, émettre des hypothèses, produire des protocoles d'expérimentations, conduire des expérimentations, analyser des résultats, tirer des conclusions à partir de résultats, reconnaître des relations de cause à effets ou pouvoir généraliser.

Ces habiletés cognitives sont des habiletés de raisonnement scientifique. Le raisonnement scientifique réfère aux processus mentaux utilisés pour raisonner sur des contenus scientifiques, s'engager dans des activités typiquement scientifiques (comme l'expérimentation) ou des types de raisonnement spécifique fréquemment utilisés en sciences (Dunbar et Fugelsang, 2005).

Le raisonnement scientifique a été et continue d'être étudié par des chercheurs dans différents domaines. La recherche en sciences cognitives examine particulièrement le raisonnement scientifique par rapport au développement des habiletés dans le temps, du début de l'enfance à l'âge adulte. Ces études se concentrent généralement sur une ou des habiletés précises de raisonnement scientifique, ou comparent une habileté entre enfants d'âges différents ou entre enfant et adulte. De la même manière, des psychologues étudiant le développement des facultés mentales et intellectuelles ont étudié le raisonnement scientifique, mais surtout chez les enfants. Finalement, la recherche en didactique des sciences a analysé le raisonnement scientifique d'élèves de tous âges, principalement par l'utilisation de concepts scientifiques venant de domaines variés. C'est dans cette perspective que se situe cette recherche. Issue du monde de l'éducation, l'auteure souhaitait réaliser une étude directement en classe, en contexte de cours de sciences. Sans affirmer que cette étude se situe en contexte de «réalité» d'un cours de sciences au secondaire, c'est plus des moments précis dans le temps qui ont été choisis pour investiguer le raisonnement scientifique, avec une classe de sciences comme toile de fond.

1.1.1. Étude sur le raisonnement scientifique

L'étude du raisonnement scientifique peut se faire selon les deux domaines de la science expliqués précédemment : par domaine spécifique ou par domaine général (Zimmerman, 2000; Echeverria, 2003; Zimmerman, 2007).

L'approche par domaine spécifique étudie les conceptions des enfants et des adultes sur des phénomènes scientifiques précis (la génétique, les forces, la température etc.) dans différents domaines scientifiques. Le but central de ces recherches est la découverte des préconceptions (leur définition et leur structure) et des représentations des élèves sur les phénomènes à l'étude et la progression ou les changements dans ces conceptions.

Dans l'approche par domaine général, le but est de comprendre le développement des habiletés de raisonnement scientifique impliquées dans le raisonnement ou la résolution de problèmes. Ces recherches portent principalement sur la planification d'expérimentations, la génération d'hypothèses et l'évaluation d'évidences. Ces études sont plus près des études de raisonnement dites «classiques» en sciences cognitives et en psychologie expérimentale puisqu'elles y tirent leurs racines (Zimmerman, 2000). L'accent est mis sur les habiletés cognitives et les stratégies qui transcendent le domaine dans lequel elles sont appliquées.

Penner et Klahr (1996) expliquent que catégoriser les recherches par domaine spécifique ou par domaine général semble logique, même s'il est difficile d'étudier l'un sans l'autre. Par exemple, quand des gens raisonnent sur des problèmes réels, leurs connaissances antérieures imposent de grands biais théoriques. Ils avancent que les connaissances antérieures viennent fausser les habiletés de raisonnement de domaine général, comme choisir une hypothèse ou analyser des évidences. La présente recherche utilise un domaine spécifique comme sujet d'étude et de questionnement pour les élèves, mais les habiletés recherchées seront de domaine

général. Echeverria (2003) souligne une autre dichotomie dans les recherches sur le raisonnement scientifique, soit celles tenues en laboratoires de sciences cognitives ou celles en classe de sciences.

1.1.2. Les différents contextes de recherche pour l'étude du raisonnement

Quantité de recherches sur le raisonnement scientifique se font en laboratoire de sciences cognitives (Kuhn et al, 1988; Klaczynski et Narasimham, 1998; Koslowski, 1996; Parnafes et diSessa, 2004; Schauble, Glaser, Raghavan et Reiner, 1991; Tschirgi, 1980). Bien que de telles études permettent de cibler une ou des habiletés de raisonnement scientifique en particulier, par exemple l'évaluation d'évidence, ces contextes ne ressemblent en rien à un contexte de classe de sciences. Dans un but semblable, des recherches sont conduites en classe, mais avec des méthodologies semblables à celles utilisées en laboratoires de sciences cognitives, incluant des outils de collecte comme des tests standardisés (Klaczynski, 2000, 2001; Kwon et Lawson, 2000; Watters et English, 1995). Le contexte de ces recherches est la classe, mais il est plus près des conditions de laboratoire de sciences cognitives, puisque les élèves ne réalisent pas de tâches *authentiques*, comme une expérimentation ou une résolution de problème. Les tests standards de psychologie expérimentale ne se font habituellement pas dans un domaine précis de connaissances et avec des tâches arbitraires à réaliser. Dans ces contextes, il est impossible pour les sujets d'utiliser les habiletés cognitives qu'ils utiliseraient dans la vie courante (Dunbar, 2000).

Les recherches en sciences cognitives se doivent de développer des méthodologies reliant les fonctions cognitives individuelles internes aux variables extérieures comme le contexte, la tâche, les interactions sociales et l'environnement culturel, pour en permettre une meilleure compréhension (Vosniadou et al.,2001). Il devient donc important d'étudier la cognition humaine dans des contextes plus naturels et

d'inclure dans ces recherches un des aspects les plus importants qui détermine la cognition : l'environnement. Dans cette optique, d'autres études ont tenté d'étudier le raisonnement scientifique en contexte de classe, mais souvent, l'accent est mis sur l'apprentissage en collaboration ou sur le raisonnement scientifique *collaboratif* ou de *groupe* plutôt que sur les habiletés de raisonnement de l'élève lui-même (Hogan, Nastasi et Pressley, 2000; Hogan, 1999; Wegerif, Mercer et Dawes, 1999).

La construction des apprentissages et le raisonnement scientifique sont trop peu souvent étudiés ensemble pour déterminer comment les processus de raisonnement scientifique contribuent aux idées et aux explications construites par l'élève pour comprendre les phénomènes scientifiques. Bien que les études conduites en laboratoire de sciences cognitives soient informatives sur le raisonnement scientifique, elles étudient rarement les changements possibles dans les connaissances. Les études sur le raisonnement scientifique tiennent trop peu souvent compte des conceptions préalables des élèves, ou des théories qu'ils entretiennent sur des phénomènes scientifiques (Echeverria, 2003; Zimmerman, 2000; Kowolski, 1996; Schauble, 1996). Zimmerman (2007) soutient qu'augmenter les recherches traitant à la fois de développement cognitif et de l'enseignement des sciences pourrait favoriser les apprentissages des élèves.

1.1.3. Les études développementales du raisonnement scientifique

Dans les études en psychologie du développement, l'approche typique des recherches sur le raisonnement scientifique est d'examiner les différences de ces processus entre les experts et les novices ou entre les enfants et les adultes dans un certain domaine (Kuhn et al., 1988; Koslowski, 1996; Schauble, 1996) La grande majorité des recherches développementales du raisonnement scientifique étudient les enfants, à partir de trois jusqu'à environ douze ans, mais peu traitent du développement cognitif des adolescents jusqu'à l'âge adulte, en comparaison aux recherches dédiées aux

premières années de la vie (Kuhn et Franklin, 2006a). Beaucoup d'auteurs ont tenté d'élucider les modes et processus de perceptions, de traitements de l'information, d'apprentissage et de mémoire chez l'enfant, mais il serait faut de croire hors de tout doute qu'un développement se poursuit dans les années suivant l'enfance. Kuhn et Franklin (2006a) posent la question suivante :

«... existe-t-il des évidences de changements dans la nature du fonctionnement cognitif de l'enfant au cours de sa progression de tôt dans l'enfance en passant par l'enfance tardive et l'adolescence, jusqu'à l'âge adulte? (p. 954, traduction libre)».

Dans une recension des écrits sur le développement, Kuhn et Franklin (2006a) soutiennent que les chapitres sur l'adolescence montrent invariablement que la cognition de l'adolescent comporte de nouvelles structures absentes de la cognition de l'enfant. Cependant, il semble que ce constat soit plus un fait établi qu'il ne l'est en réalité. Il devient donc essentiel de considérer la deuxième décade de la vie pour obtenir une compréhension plus complète du processus de développement comme tel.

Les recherches sur les adolescents sont moins abondantes, puisque la cognition chez l'enfant plus âgé et chez l'adolescent est plus complexe et problématique que la cognition chez le jeune enfant. Une autre difficulté dans les recherches sur les adolescents est que les habiletés et la compréhension qui se développent chez le jeune enfant se développent selon un rythme assez régulier et prévisible. Au milieu de l'enfance, par contre, l'évolution cognitive peut ou non se poursuivre, dépendamment des expériences de l'enfant. Certains enfants atteindront des niveaux cognitifs élevés tôt dans l'adolescence, tandis que d'autres n'atteindront jamais de tels niveaux, même adultes. Il existe une énorme variabilité dans le fonctionnement cognitif des adolescents, certains raisonnant autant qu'un enfant de troisième année, d'autre performant aussi bien, sinon mieux que la plupart des adultes. Mais cette variabilité

n'implique pas d'arrêter d'étudier le développement des adolescents. Cette analyse du développement cognitif chez l'adolescent se complexifie par l'apprentissage de contenus scolaires et l'acquisition d'expertise, contrairement à l'enfant où moins de variables entrent en jeu. Si certaines habiletés ne se développent pas, les éducateurs et enseignants deviennent concernés par les conditions qui pourraient les faciliter.

Kuhn et Franklin (2006a) soutiennent le besoin de conduire plus de recherches sur la cognition des adolescents dans des contextes d'activités dans lesquelles les adolescents choisissent d'investir leurs ressources intellectuelles. Ils soulignent aussi l'importance de continuer à étudier les mécanismes de développement. Il est risqué de tirer des conclusions de recherches confinées à des problèmes artificiels, construits pour de simples besoins de recherche, sans relation aux types de pensée des adolescents dans la vie de tous les jours.

L'environnement intellectuel et scolaire des enfants et des adolescents est *supposément favorable* au développement cognitif de l'enfance jusqu'à la fin de l'adolescence. Mais il n'est apparemment pas assez favorable pour supporter un développement cognitif universel qui a le potentiel de se développer jusqu'à vingt ans. Un investissement de ressources à ce stade de la vie est plus qu'important pour le développement futur de la jeunesse et de la société. Il est donc aussi crucial d'identifier les facteurs qui favorisent la croissance d'un tel développement.

1.1.4. Diverses études traitant de la flottaison et des comportements de la lumière

Les thèmes de la flottaison et les comportements de la lumière ont déjà été utilisés comme base pour des recherches en didactiques des sciences. Que ce soit pour étudier le raisonnement scientifique ou le changement conceptuel, les auteurs y ont maintes fois fait référence. En fait, les concepts utilisés sont souvent reliés à la

physique, que ce soit pour étudier des connaissances de domaines spécifiques que pour étudier des habiletés de raisonnement de domaine général.

Études sur la flottaison

Dans une étude sur la flottaison (*sinking objects* – littéralement des objets qui coulent), Penner et Klahr (1996) démontrent les conceptions préalables d'enfants ou d'adolescents de dix, douze et quatorze ans par rapport aux facteurs influençant des objets à tomber au fond de l'eau. En analysant leurs conceptions préalables, les auteurs ont montré que les élèves croient que la masse est l'attribut principal qui détermine le rythme auquel coule un objet. Ils soulignent que les élèves sont influencés par leurs croyances préalables (*prior beliefs*) pour choisir des stratégies d'expérimentation autant que pour générer des conclusions. Aussi, ils soulignent la difficulté pour les enfants et les adolescents de comprendre la différence entre le poids et la densité. Finalement, les auteurs insistent sur le fait que la flottaison est un domaine pour lequel les enfants possèdent de fortes et résistantes conceptions préalables.

Parallèlement, Hardy, Jonen, Moller et Stern (2006) soulignent, dans une revue des études menées par Smith et Moller de 1985 à 1999, qu'autant les élèves du primaire que du secondaire utilisent souvent une seule dimension pour expliquer la flottaison : la masse de l'objet, son volume ou sa forme. Aussi, beaucoup d'élèves voient l'air comme une force active qui soulève les objets et l'eau comme une force qui attire les objets vers le bas. Plutôt que de considérer à la fois l'objet et le fluide, les élèves soulignent seulement les propriétés des objets.

Dans une recension de recherches sur les phénomènes de la flottaison, Raghavan, Sartoris et Glaser (1998) soulignent que la majorité des difficultés proviennent de notions incomplètes ou erronées sur les concepts de masse, volume, densité, force et

pression. Ils révèlent aussi que la confusion entre certains de ces concepts nuit à la compréhension de la flottaison.

Études sur les phénomènes lumineux

Eshach (2003) étudia les conceptions préalables et les changements conceptuels chez des élèves de 15 et 16 ans par rapport aux ombres. Dans une revue de recherches, il soutient que les élèves possèdent encore des «*misconceptions*», même après un enseignement formel et complet de l'optique.

Dans une recension de recherches sur la lumière, Galili et Hazan (2000) soutiennent que les enfants se construisent des explications sur plusieurs phénomènes lumineux et fournissent certaines prémisses qui constitueraient des obstacles à l'apprentissage de ces phénomènes. Ces prémisses sont : 1) les paramètres physiques de la lumière (vitesse, longueur d'ondes, pression) sont imperceptibles aux sens humains 2) en optique, l'observateur fait partie inhérente de ce système, les élèves distinguant mal la différence entre l'observateur (souvent un œil) et lui-même comme observateur 3) le langage amènerait aussi des difficultés de compréhension, des expressions courantes contredisant la théorie scientifique 4) l'humain explique spontanément des phénomènes en termes de causes à effet, ce qui pourrait nuire à une compréhension réelle, 5) l'optique est un sujet interdisciplinaire et finalement 6) l'apprentissage de l'optique est fortement basé sur un symbolisme graphique.

Ebersbach et Resing (2007) ont analysé la compréhension de sujets de cinq, neuf et treize ans et d'adultes sur les relations entre la taille de l'objet, la distance lumière-objet et la taille de l'ombre de cet objet. Les auteurs souhaitaient aussi analyser ces relations par rapport à la pensée multidimensionnelle. L'habileté à intégrer plusieurs variables s'améliorerait avec l'âge, certains enfants de cinq ans tenant compte autant de la taille de l'objet que la distance lumière-objet pour estimer la taille de l'ombre, tandis que les sujets de treize ans et les adultes prenaient toujours en considération les

deux variables. Les auteurs ont aussi trouvé une grande différence entre les connaissances implicites et explicites sur les ombres chez les enfants de cinq ans, différence qui décroît avec l'âge. Seulement une minorité de participants plus vieux et très jeunes ont reconnu la relation non-linéaire entre la distance lumière-objet et la taille de l'ombre.

1.2. Habiletés cognitives et vie quotidienne

Dans la vie de tous les jours, les habiletés mentales des individus sont constamment utilisées. Tous les gestes, paroles ou réflexions sont le fruit de nos fonctions cognitives. Mais en plus des activités de tous les jours comme manger, lire ou conduire la voiture, se présente souvent un problème à résoudre, la nécessité de créer des liens, trouver des solutions ou simplement réfléchir. Dans ces circonstances, c'est toute une gamme d'habiletés cognitives qui sont utilisées plutôt que de simples automatismes. Ce sont donc plusieurs habiletés de raisonnement qui sont désignées à différents moments et à différents degrés chez les individus. Mais ces habiletés de raisonnement, sont-elles le fruit de l'éducation ou de la simple expérience de la vie? Les habiletés cognitives utilisées en dehors des salles de classes peuvent-elles être enseignées aux élèves?

Le raisonnement scientifique étant constitué de différentes composantes, probablement que ces habiletés de pensée pourront être réutilisées dans la vie de tous les jours. Le but n'est pas de faire de chaque élève un scientifique, mais bien de développer son plein potentiel intellectuel, et espérer que chacun pourra réutiliser les savoirs, mais plus encore les habiletés apprises en classe de sciences.

Tout au long de sa scolarité, l'élève aura été en contact avec différents programmes de sciences et technologies. Mais qu'en est-il des habiletés développées au cours de cette formation? Les élèves ont-ils seulement acquis des savoirs épars dans certaines disciplines, ou sont-ils capables de véritables raisonnements scientifiques? Avant de

prévoir des activités d'enseignement-apprentissage qui favoriseront l'émergence et le développement d'habiletés de raisonnement scientifique, il est essentiel de discerner quelles habiletés de raisonnement scientifique les élèves possèdent *a priori*.

1.3. Problème de recherche

L'apprentissage des sciences étant par définition complexe et le raisonnement scientifique tout autant, des recherches restent à faire dans ces deux domaines. L'apprentissage des sciences nécessite plusieurs habiletés cognitives de raisonnement et compétences diverses chez les élèves, pour une compréhension maximale tant par rapport aux concepts scientifiques qu'à sa nature. De plus, il serait souhaitable que les apprentissages réalisés en classe de sciences puissent être réutilisés par les élèves dans la vie courante.

Du fait que peu d'études traitent du raisonnement scientifique en contexte de classe de sciences, qui plus est, par rapport à des adolescents de quinze et seize ans, et particulièrement au Québec, il apparaît nécessaire de se questionner sur les habiletés de raisonnement scientifique d'élèves québécois du secondaire.

1.4. Questions de recherche et objectifs de la recherche

1.4.1. Questions de recherche

- Quels types de raisonnements scientifiques utilisent les élèves de quatrième secondaire :
 - en contexte de situations-problèmes sur les phénomènes lumineux?
 - en contexte de situations-problèmes sur le phénomène de la flottaison?

1.4.2. Objectifs de la recherche

- 1) Dégager les raisonnements scientifiques des élèves de quatrième secondaire sur les thèmes des phénomènes lumineux et la flottaison.
- 2) Expliquer les raisonnements scientifiques produits par les élèves de quatrième secondaire sur les thèmes des phénomènes lumineux et la flottaison.

Dans ce contexte, l'utilisation de situations-problèmes laisse une totale liberté aux élèves dans leurs réponses, dans le but d'obtenir une gamme d'habiletés la plus complète et représentative qui soit des habiletés de raisonnement scientifique des adolescents. Le résultat escompté n'est nullement de vérifier la véracité ou la pertinence des raisonnements des élèves, mais bien de dégager les raisonnements démontrés. Il serait d'autant plus hasardeux d'étudier le raisonnement scientifique en ne tenant compte que de réponses «exactes» d'un point de vue scientifique, puisque de telles réponses nécessitent quantité de connaissances et savoirs conceptuels.

2. Cadre conceptuel

2. Cadre conceptuel

2.1. Le raisonnement scientifique

Le raisonnement scientifique regroupe les habiletés impliquées dans l'enquête, l'expérimentation, l'évaluation d'évidence et de déduction faite dans un contexte scientifique. De plus, il s'intègre aux méthodes ou aux principes utilisés lors de raisonnement ou de résolution de problème, impliquant la génération, les tests et la révision de théories (Dunbar, 1999 ; Koslowski, 1996; Zimmerman, 2007). Pour Dunbar et Fugelsang (2005), le raisonnement scientifique concerne les processus mentaux utilisés pour raisonner sur des contenus scientifiques, s'engager dans des activités typiquement scientifiques (comme l'expérimentation) ou des types de raisonnement spécifique fréquemment utilisés en sciences. Plusieurs aspects du raisonnement scientifique impliquent des processus cognitifs d'usage général comme l'induction, la déduction, l'analogie, la résolution de problème et le raisonnement causal. Chacun de ces termes sera défini ultérieurement.

En égard au développement cognitif en général et au raisonnement scientifique en particulier, il existe une variabilité autant inter que intra-individu dans la performance, particulièrement par rapport aux conclusions et aux stratégies d'expérimentation. Le raisonnement scientifique implique donc une gamme complexe d'habiletés cognitives et métacognitives et le développement et la consolidation de telles habiletés requièrent amplement d'exercices et de pratique (Zimmerman, 2007). Une personne éveillée à ses actes mentaux pourra plus facilement accéder à ses habiletés de cognition et les appliquer sous un contrôle volontaire. De plus, le contrôle de telles habiletés de cognition est primordial dans le développement du raisonnement scientifique (Kuhn et al. 1988).

Le raisonnement scientifique a été étudié selon deux approches majeures : une par rapport aux principes et stratégies utilisées lors de la production et d'évaluation d'hypothèses, l'autre par rapport au changement conceptuel et à ses processus (Koslowski, 1996, Zimmerman, 2005; 2007). La première approche sera définie en expliquant les différentes méthodologies utilisées, puis une définition du changement conceptuel sera développée.

2.2. Le raisonnement scientifique comme résolution de problème

Le raisonnement scientifique et la découverte scientifique peuvent être vues comme une forme de résolution de problème. Simon (1977, dans Dunbar et Fugelsang, 2005 et Zimmerman, 2000) explique que le raisonnement scientifique en général et la résolution de problème peuvent être perçus comme une recherche dans un *espace problème* (*problem space*). Un *espace problème* est défini comme étant tous les états possibles du problème et les opérations utilisées à partir de l'état initial, jusqu'à la résolution. À partir des représentations et des procédures utilisées, il devient possible de comprendre le raisonnement scientifique. Simon (1977) soutient aussi que la découverte scientifique est une activité de résolution de problème utilisant les mêmes mécanismes de traitement de l'information ayant été identifiés auparavant dans d'autres contextes de résolution de problèmes.

Klahr et Dunbar (1988) ont présenté une approche semblable à la précédente en proposant que le raisonnement scientifique peut être vu comme une recherche selon deux espaces : un espace d'hypothèses et un autre d'expérimentation. Le processus d'investigation scientifique comprend trois composantes majeures: la recherche dans l'espace d'hypothèse, les tests d'hypothèses et l'évaluation des évidences. Dans leur modèle *SDDS* (*Scientific Discovery as Dual Search*), ils proposent la coordination des mouvements des sujets entre ces deux espaces. La recherche dans l'espace d'hypothèses est guidée par les savoirs de base et des résultats expérimentaux. La

recherche dans l'espace d'expérimentation est guidée par les types d'hypothèses et les résultats des premières expérimentations. Dans ce modèle qui intègre les processus cognitifs impliqués dans l'expérimentation, autant les produits que les processus sont importants : la formation de concepts et l'acquisition de connaissances, comme le développement de stratégies et d'habiletés cognitives. Mais au-delà du modèle de Klahr et Dunbar (1988), l'activité de résolution de problème engage elle aussi divers processus cognitifs qui seront décrits dans la section «problème et problématisation» (p. 43).

2.3. Habiletés spécifiques reliées au raisonnement scientifique

Le raisonnement scientifique inclut diverses habiletés de pensée et de raisonnement. Ces habiletés sont plus souvent reliées à des contextes d'expérimentation en laboratoire de sciences ou à des contextes de résolution de problèmes. La section suivante décrit ces types d'habiletés spécifiques.

2.3.1. L'expérimentation et le contrôle des variables

L'expérimentation est définie comme un problème flou. Le but d'une expérimentation est de mettre à l'épreuve une ou des hypothèses et de générer des observations dans un contexte de découverte. Ces observations peuvent ensuite servir à produire de nouvelles hypothèses. Le contrôle des variables est aussi partie intégrante des expérimentations, et est considéré comme une stratégie de domaine général. Les habiletés incluses dans l'expérimentation sont l'isolation et le contrôle des variables, la production de combinaisons factorielles dans des tâches à variables multiples, la sélection ou la production d'un protocole approprié et la prise de notes et de résultats.

Dans les études consultées sur le contrôle des variables en contexte d'expérimentation (Kuhn et al., 1988; Tschirgi, 1980) il est fait abstraction des connaissances et

croyances antérieures des élèves pour se concentrer sur les stratégies utilisées sans égard au contexte. Le contrôle des variables est essentiel dans une situation où plusieurs éléments, les variables, interfèrent dans la production d'un effet. Les sujets doivent alors choisir quelle variable produira un effet positif ou éliminera un effet négatif. Cette habileté est aussi importante en résolution de problème et en expérimentation, où plusieurs variables sont souvent impliquées et doivent être contrôlées pour garantir des résultats ou une solution concluante.

Plusieurs stratégies de contrôle des variables peuvent être utilisées par les sujets : HOTAT, *Hold One Thing At a Time*; VOTAT, *Vary One Thing At a Time*, aussi récemment appelée Control of Variables Strategy (CVS) et CA, *Change All*. Seule la stratégie VOTAT pourra aboutir à la solution finale, car toutes les variables sont gardées constantes, sauf une, celle à vérifier. Des stratégies comme la production systématique de combinaisons factorielles et le contrôle de variables émergent plus facilement si elles ont été enseignées *a priori*. Sans pratique ou instruction, les sujets ont plus tendance à utiliser des bases empiriques (produire des effets positifs et éliminer les effets négatifs) ou des raisonnements heuristiques que de véritables habiletés logiques.

2.3.2. L'évaluation d'évidences

Les habiletés spécifiques incluent des habiletés inductives de génération de théories selon des évidences et des habiletés générales pour réconcilier les croyances préalables à de nouvelles évidences qui confirment ou infirment ces croyances. Ces croyances des sujets produisent des biais (*belief bias*), erreurs qui nuisent à la différenciation et à la coordination de théorie et d'évidence.

Plusieurs démarches expérimentales sont utilisées pour évaluer différents processus cognitifs reliés à la théorie-évidence :

- différencier la théorie des évidences,
- expliquer une théorie par des évidences ou vice-versa,
- réviser une théorie par l'ajout de nouvelles évidences,
- éviter l'influence de la théorie sur l'évaluation d'évidences,
- évaluer l'influence des évidences sur la modification d'une théorie,
- relier une seule évidence à plusieurs théories ou plusieurs évidences à une seule théorie et
- générer des évidences pour supporter ou réfuter une théorie.

Une habileté majeure d'évaluation d'évidence est celle de la co-variation. La co-variation peut être vue comme le lien entre deux effets reliés de façon causale. Kuhn et al, (1988) affirment que *«les habiletés utilisées pour la coordination de théories et d'évidences sont les plus centrales, essentielles et générales qui définissent le raisonnement scientifique (Préface, p. x)»*. Ces habiletés mettent aussi en jeu l'utilisation des fonctions métacognitives. Le but est de pouvoir penser *sur* les théories (*about*), plutôt qu'*avec* elles (*with*). Cette habileté est centrale au raisonnement scientifique car son utilisation démontre de façon implicite des habiletés de raisonnement causal.

Des chercheurs, tels Vosniadou et Kollias (2005) et Kuhn (2001), soutiennent aussi que ces habiletés sont fondamentales pour comprendre des phénomènes scientifiques. Du manque de différenciation entre théorie et évidence jusqu'à leur parfaite différenciation et coordination, ceci reflète la maîtrise d'un éventail d'habiletés et de sous-habiletés de raisonnement scientifique qui se développeront graduellement par la pratique. Mais pour la majorité des gens, elles pourraient seulement se développer sommairement.

La production de déductions implique l'interprétation d'évidences pour tirer une conclusion en analysant les liens entre les variables et l'effet. Les enfants comme les

adultes sont plus portés à tirer des déductions d'inclusion ou de causalité, plutôt que des déductions d'exclusion ou de non-causalité. Finalement, les déductions d'interaction sont généralement plus difficiles à réaliser pour un sujet, à cause de la complexité des relations entre les variables.

2.3.3. La recherche, la génération et la sélection d'hypothèse

Cette habileté de raisonnement scientifique implique de pouvoir générer des hypothèses par rapport à des données, de sélectionner des hypothèses en fonction de données suggérées ou de confirmer ou infirmer des hypothèses (Kuhn et al., 1988). Cette habileté s'utilise en contexte d'expérimentation scientifique, mais aussi en contexte de résolution de problème. En présence d'un problème à résoudre, un sujet devra d'abord générer des hypothèses de solutions, pour ensuite vérifier leur validité et leur efficacité à résoudre le problème. Si elles sont jugées inefficaces en fonction des données du problème, le sujet devra en produire une ou d'autres, jusqu'à la sélection d'une ou des hypothèses de départ.

2.4. Tâche complexe ou approches intégrées

Comprendre le développement du raisonnement scientifique serait incomplet sans les études au cours desquelles les participants prennent part à toutes les étapes de la découverte scientifique (Zimmerman, 2007). Ces tâches complexes permettent le co-développement de stratégies de domaine général et de connaissances de domaine spécifique. Les participants réalisent toutes les phases d'un cycle d'investigation scientifique : la génération et la révision d'hypothèses, l'expérimentation et l'évaluation d'évidences.

Les sujets explorent des systèmes causaux à multiples variables et doivent tirer des conclusions. Ils détermineront ensuite la nature de ces conclusions, soit causale, non causale ou indéterminée. Ces conclusions peuvent ensuite être codées par les

chercheurs comme valides ou non valides et les justifications codées comme liées aux évidences (*evidence-based*) ou basées sur la théorie (*theorie-based*). Les déductions valides peuvent ensuite être utilisées comme un indicateur de la performance des sujets. En réalisant toutes les étapes d'une expérimentation scientifique, les élèves utilisent leurs connaissances pour évaluer des évidences, générées par l'observation ou l'enquête, et cette coordination peut mener ou non à un changement des connaissances (Zimmerman, 2007).

Ce processus de changement des connaissances n'est pas simple, mais l'utilisation d'expérimentations valides et de stratégies d'analyse des évidences nouvelles permettent une meilleure compréhension d'un système causal. Les connaissances préalables sont utilisées pour raisonner sur ces évidences et en trouver la provenance. L'amélioration du raisonnement scientifique implique des changements de stratégies et le développement des connaissances. Il se produit donc une interaction dynamique entre les deux : les connaissances appropriées soutiennent la sélection de stratégies d'expérimentation et ces mêmes stratégies supportent le développement d'apprentissages plus complets et plus exacts (Schauble, 1996).

2.5. Types de raisonnement

Les habiletés de raisonnement scientifique présentées ci-haut impliquent toutes un ou plusieurs types de raisonnement, ces derniers pouvant aussi être utilisés seuls lors de raisonnement scientifique. Les raisonnements déductif, inductif, analogique et basé sur les modèles seront développés pour dégager les spécificités de chacun.

2.5.1. Raisonnement déductif

La déduction est un processus de recherche de conclusions sur la base des prémisses (Markovits, 2004). Watters et English (1995) décrivent le raisonnement déductif comme un terme large qui comprend l'encodage et la combinaison d'éléments en

utilisant des connections logiques, des conclusions transitoires, des raisonnements syllogistiques et des raisonnements propositionnels. Le raisonnement déductif implique un processus logique qui découle de faits, de résultats ou de conséquences, venant d'idées ou de théories basées sur la vérité des relations entre les prémisses, sans égard à la valeur empirique ou pratique des prémisses. Un raisonnement déductif efficace requiert l'habileté à développer des arguments et prouver leur validité, à générer et à tester des hypothèses ou à juger de la plausibilité de faits. Kuhn et al. (1988) soutiennent que l'inclusion et l'exclusion sont des relations de type causal. Dans l'inclusion, la conclusion indique une relation entre une ou plusieurs variables et un effet. Par l'exclusion, la conclusion montre qu'une évidence n'indique pas de relations entre une ou plusieurs variables et un effet.

Le raisonnement conditionnel constitue un type de raisonnement déductif et une composante clé du raisonnement logique. Il existe différentes théories pour expliquer le raisonnement conditionnel; une des plus utilisées étant la théorie des modèles mentaux (Markovits et Barrouillet, 2002). Le raisonnement conditionnel est du type «*si - alors*», par exemple «si P, alors Q». Le raisonnement conditionnel comprend toujours au moins deux prémisses, des propositions, une proposition majeure, «P implique Q» et une des quatre propositions mineures (P est vrai, P est faux, Q est vrai, Q est faux) (Markovits et Barrouillet, 2002).

Dépendamment de la prémisse de départ, une conclusion logique sera produite, conclusion pouvant être valide ou invalide. C'est par raisonnement déductif qu'est tirée une conclusion à partir des prémisses. Par exemple : Si « P implique Q, P est vraie », donc la conclusion logique valide sera Q est vraie. « Si P implique Q, Q est fausse », donc la conclusion logique est que P est fausse, et ainsi de suite.

Le raisonnement conditionnel peut varier selon l'interprétation faite des prémisses, informations tirées de l'espace problème, la vraisemblance des conclusions et de la

nécessité et de la suffisance des relations conditionnelles. Ces deux dernières variables déterminent quelles déductions seront réalisées. Le raisonnement déductif est basé principalement sur la logique et de telles habiletés sont cependant difficilement réutilisables en classe de sciences.

2.5.2. Raisonnement inductif

Ce mode de pensée va du particulier au général, par exemple lorsqu'on observe une série de faits et de régularités pour essayer de découvrir une règle, une loi. Il peut aussi y avoir induction par généralisation : à partir d'observations, il est possible de généraliser pour d'autres cas. Les informations sont habituellement incomplètes, mais la conclusion peut ne pas être vraie, mais vraie selon les probabilités ou les observations. Les évidences ne garantissent pas la validité de la conclusion, mais la supportent et tout laisse croire qu'elle est vraie. Le raisonnement inductif est central au travail des scientifiques (Kuhn et al., 1988), puisqu'à partir de résultats expérimentaux, il est possible de formuler une théorie, ou de relier ces résultats à une théorie.

2.5.3. Raisonnement analogique

La pensée analogique est une composante clé des différents aspects du raisonnement scientifique et un élément important de la cognition humaine (Dunbar, 2001). Le raisonnement analogique est un processus par lequel un sujet transfère ou généralise à partir de la représentation d'un modèle qu'il comprend déjà, pour expliquer un autre phénomène (Watters et English, 1995). L'analogie est une stratégie conceptuelle qui permet de faire des déductions sur un nouveau phénomène ou de transférer des apprentissages. Elle possède aussi deux utilités : l'illustration et l'explication de concepts ou de phénomènes et la résolution de problème.

« *Rather, analogical reasoning is a complex process of retrieving structured knowledge from long term memory, representing and manipulating role-filler bindings in working memory, performing self-supervised learning to form new inferences, and finding structured intersections between analogs to form new abstract schemas (p. 136).*” (Holyoak, 2005)

Une analogie possède deux composantes : la source et la cible. La cible est le concept à expliquer, et la source est une connaissance utilisée pour comprendre ou expliquer la cible. Construire une analogie requiert du sujet de *générer* la source qui expliquera la cible. Il s’agit de se représenter mentalement la source et la cible, puis de créer des liens entre des éléments de chaque composante, liens basés sur la correspondance des relations dans chacune.

L’analogie implique deux niveaux de représentations autant pour la source que pour la cible. Les *similarités superficielles* expliquent la ressemblance des éléments de la source aux éléments de la cible, et leurs propriétés. La *similarité structurelle*, existe si les relations entre les objets de la source sont similaires aux relations entre les objets de la cible, indépendamment de la similarité des objets entre eux. Cette similarité est cruciale pour définir une analogie (Blanchette et Dunbar, 2000). De plus, il est possible d’analyser une analogie par la distance entre la source et la cible, par exemple si les deux éléments proviennent ou non du même domaine. Par exemple si on compare un virus à une autre forme de virus, on pourra analyser le degré d’élaboration de cette analogie (par rapport aux nombres d’éléments explicites dans la source et la cible). Cette dernière pourra être explicite, partiellement explicite ou implicite dépendamment si des liens de correspondance entre la source et la cible sont fournis.

Blanchette et Dunbar (2000) soutiennent que si une personne est capable de générer des analogies, cela montre qu’elle peut discerner les éléments structuraux et les

relations dans un concept. Quand une personne produit une analogie, elle recherche dans sa mémoire des relations structurelles, plutôt que superficielles. En ayant une compréhension minimale de la source et de la cible, il est possible pour un sujet d'utiliser des relations structurelles élevées. Cependant, les analogies peuvent aussi être superficielles, ayant peu ou pas de relations structurelles entre la source et la cible. Donc, le sujet tente une comparaison, mais la superficialité de l'analogie prouve le manque de compréhension profonde du ou des concepts utilisés pour créer l'analogie (Dunbar, 2001).

Le raisonnement analogique peut aussi être utilisé en résolution de problème (Blanchette et Dunbar, 2000; Bearman, Ball et Ormerod, 2002, Novick, 1991). Cependant, la relation entre la source et la cible est dans ce cas différente. Dans la production d'une analogie, le sujet *génère* la source, tandis qu'en résolution de problème il doit la *retrouver*. Face à un nouveau problème, l'élève peut retrouver dans sa mémoire un problème qu'il a déjà résolu et faire des liens avec le nouveau problème. La récupération dans la mémoire se fera plus facilement si le sujet a une représentation appropriée de chacun des problèmes, parce que les éléments du problème cible aideront à chercher en mémoire un problème semblable déjà résolu.

En reliant l'ancien et le nouveau problème, il pourra plus facilement trouver une solution, ou réutiliser la solution qu'il avait utilisée au départ. Il est plus facile pour les sujets si les deux problèmes ont des éléments de surfaces similaires que seulement des éléments structuraux, autant pour retrouver la source, relier la source à la cible que pour coder la cible. Ce type de raisonnement est très utile, quoiqu'il importe au sujet d'avoir encore en mémoire la structure et la solution de l'ancien problème. La mémoire est donc d'une grande importance dans le raisonnement analogique mais il devient difficile pour un sujet de retrouver la source en mémoire s'il existe un manque de similarité en surface.

L'analogie serait un type de raisonnement inductif. Le raisonnement analogique va au-delà de l'information initiale : en utilisant des connections systématiques entre la source et la cible, pour générer des déductions, pouvant être fausses, par rapport à la cible. Holyoak (2005) explique le transfert analogique par l'utilisation de la source pour générer des déductions sur la cible.

Il serait plus aisé d'analyser et de comprendre le raisonnement analogique dans un paradigme de «production» d'analogie que dans un contexte d'expérimentation en laboratoire où les sujets doivent relier source et cible (Blanchette et Dunbar, 2000). En produisant une analogie, un sujet choisit par lui-même les éléments de l'analogie et fournit le plus souvent des analogies avec une forte structure sous jacente, plutôt que seulement avec des similarités de surface.

2.5.4. Raisonnement causal

Le raisonnement causal est le fait de pouvoir relier une cause à son ou à ses effets et permet de prédire, de déduire et d'expliquer des phénomènes par des observations ou des réalisations. Une cause peut être décrite comme un incident ou une action qui, par sa présence, entrainera l'occurrence ou non d'un événement. Il existe trois principes qui valident une relation causale (cause à effet) : le principe de priorité, le principe de covariation et le principe du mécanisme (Hung et Jonassen, 2006).

Le principe de priorité réfère à l'idée que pour avoir une cause valide, la cause doit précéder l'effet dans le temps. Le principe de covariation explique qu'un effet est attribué à une de ces causes possibles, et l'effet varie dans le temps. Pour avoir une relation causale de covariation, l'association entre la cause et l'effet doit se reproduire plusieurs fois pour assurer la probabilité qu'un événement est bien la cause d'un effet. Il est aussi possible de créer des types de covariation entre des causes et des effets potentiels. Ce type de raisonnement causal est particulièrement efficace si beaucoup d'éléments incertains sont impliqués et utilise les probabilités statistiques pour

appuyer la causalité des relations. Cependant, une relation de covariation n'explique pas comment, ni pourquoi, une relation se produit.

Finalement, le principe du mécanisme se décrit comme une chaîne causale d'événements intermédiaires qui relie la cause à l'effet. Ce principe met l'accent sur l'explication des processus impliqués ou responsables de la liaison de la cause à l'effet. Contrairement au principe de covariation qui s'appuie sur une probabilité statistique, c'est le degré de viabilité des mécanismes sous jacents qui devient une caractéristique essentielle. C'est donc les capacités explicatives des mécanismes qui permettent d'évaluer une relation causale.

Le raisonnement causal est une composante importante du processus de design d'expérimentation puisque analyser plusieurs variables et les contrôler se fait sur des modèles causaux (Dunbar et Fugelsang, 2005).

2.6. Conceptions, représentations et modèles mentaux : les assises du changement conceptuel

Avant d'expliquer le changement conceptuel, ses mécanismes et ses implications didactiques, il importe de définir les conceptions, les représentations et les modèles mentaux.

2.6.1. Conceptions

Tous les apprenants, qu'ils soient enfants, adolescents ou même adultes, entretiennent des conceptions personnelles sur des contenus ou phénomènes scientifiques. Ces conceptions peuvent prendre plusieurs dénominations, soit, *misconceptions*, *prior beliefs*, *preconception*, *earliers beliefs*, conceptions initiales, conceptions naïves ou préconceptions (diSessa, 1983; Kuhn et al., 1988; Dekkers et Thijs, 1997; Joshua et Dupin, 1993; Vosniadou et al., 1999, 2001; Vosniadou et Kollias, 2005). Ces

conceptions permettent à l'individu de se créer un système personnel pouvant expliquer le monde extérieur et son fonctionnement. Ce système explicatif est le fruit d'une construction intuitive provenant de l'observation du monde environnant et des expériences de vie de la personne. Vosniadou et al., (2001) soutiennent que des préconceptions peuvent être décelées dans pratiquement tous les sujets des sciences physiques. Cependant, les élèves ne voient pas les croyances ou les conceptions qui nuisent à leur apprentissage et il leur est impossible de les contrôler délibérément.

Ce sont ces conceptions, fortement ancrées dans l'esprit, qui devront être réorganisées lors de l'apprentissage. Pour cette raison, l'apprentissage des sciences requiert une réorganisation des structures conceptuelles existantes et non seulement leur enrichissement par la création de nouvelles représentations différentes. Vosniadou et al., (2001) précisent que certains chercheurs soutiennent que les préconceptions ne disparaissent pas suite au changement conceptuel et selon elle, leur disparition n'est pas un préalable essentiel : elles pourront demeurer ou disparaître. Un élève pourra acquérir un nouveau concept scientifique, sous une forme *encapsulée*, et en même temps maintenir une conception intuitive sur ce concept (Joshua et Dupin, 1993)

Certaines préconceptions possèdent différents degrés d'enracinement : celles basées sur de simples observations superficielles, ou celles plus profondément structurées conceptuellement et théoriquement. De ce fait, certains concepts scientifiques peuvent être plus difficilement acquis par des élèves. La faible profondeur de leur compréhension est visible dans les représentations de leurs préconceptions. Ces préconceptions sont prétendues stables, robustes et résistantes à l'enseignement (Chi, 2005). Elles peuvent être vu de deux façons, fragmentées ou cohérentes.

Les préconceptions fragmentées sont des idées faiblement reliées et renforcées. Dans une considération cohérente, les préconceptions ne sont pas inadéquates ou incomplètes, mais plutôt des conceptions *alternatives* dans lesquelles on peut

distinguer des parties cohérentes même si la conception en soi est fausse. Joshua et Dupin (1993) abondent dans le même sens : «*Certaines au moins de ces conceptions naïves ne doivent pas être considérées comme des idées isolées et statiques, mais comme de véritables débuts de modélisation, avec leur propre cohérence et leur propre logique (p. 333)*».

Une conception possède aussi un statut dans l'esprit de la personne qui l'entretient. Hewson et Lemberger (1999) expliquent trois critères au statut d'une conception. La conception doit être intelligible, donc cohérente et le sujet doit être capable d'en expliquer sa représentation. Ensuite, elle doit être plausible pour la personne, ce qui veut dire qu'elle lui semble vraie et est utile à sa compréhension d'un phénomène. De plus, la conception doit être utile, soit pour résoudre un problème ou procurer une explication. Le statut d'une conception est changeant, c'est un processus intégré au fonctionnement intellectuel normal. Les changements de statuts sont centraux au changement conceptuel et permettent d'indiquer un ou des apprentissages. Sans statut suffisant, une conception ne sera pas intégrée à la structure conceptuelle de connaissance de l'apprenant.

Chi (2005), explique pourquoi certaines préconceptions sont plus fortement ancrées. Les concepts de processus scientifiques sont de deux types ontologiques : émergent ou direct. À première vue, des concepts peuvent sembler identiques mais seront de processus différents. Par exemple, un *objet* et un *événement* font partie de catégories ontologiques distinctes parce qu'ils possèdent des attributs différents. Une définition précise de chaque processus est difficile, mais chaque type possède des attributs spécifiques (Chi, 2005). Certains processus sont plus difficilement compréhensibles pour les élèves car les préconceptions d'un phénomène peuvent aussi être directes ou émergentes. Si la préconception est directe et le phénomène aussi, il sera plus aisé d'obtenir un changement conceptuel. Sinon, l'élève possède une préconception directe d'un phénomène émergent, d'où la robustesse de la préconception.

Pareillement, la catégorie ontologique à laquelle un concept est assigné détermine le sens du concept : par exemple, si l'élève assigne le concept de chaleur à la catégorie ontologique «matière» quand il appartient à la catégorie ontologique «processus». Pour corriger une telle préconception, il devra y avoir un déplacement (*shift*) conceptuel de type ontologique, tant pour les processus que pour les catégories.

Cette explication de domaine général suggère qu'il est possible d'expliquer aux élèves la structure causale des processus émergents pour qu'ils puissent les reconnaître et comprendre une variété de processus émergents pour lesquels ils entretiennent de solides préconceptions. De plus, elle permet d'entrevoir quelles interventions pédagogiques sont à prescrire dans plusieurs domaines et concepts différents.

Plus que de simples préconceptions et croyances, Vosniadou (1994; Vosniadou et al., 1999) explique l'existence de structures qui interfèreraient sur l'apprentissage d'une personne. Premièrement le cadre théorique naïf, formé par des présupposés d'ordre ontologique et épistémologique qui vont conditionner l'acquisition de nouvelles connaissances. Elle applique ce cadre théorique au large domaine de la physique, en considérant la lumière, les forces, la gravité, l'inertie ou le système solaire. Ensuite les théories spécifiques, composées de croyances et de propositions relatives aux comportements d'objets physiques. Ces théories spécifiques seraient formées à partir d'observations faites par l'élève et d'informations glanées dans l'environnement. Ces deux structures deviennent des contraintes lors de l'apprentissage de nouveaux concepts.

diSessa (1983, 1988) décrit ces connaissances intuitives comme un grand nombre de fragments plutôt que une ou quelques structures intégrées que certains appellent « théories ». Il appelle ces fragments des primitives phénoménologiques « *p-prims* » qui peuvent être vues comme de simples abstractions d'expériences de la vie, et sont

relativement primitives par le fait qu'elles ne nécessitent généralement pas d'explications, elles existent tout simplement.

2.6.2. Représentations

Une conception est une entité mentale interne et non observable, tandis qu'une représentation est externe et observable (Hewson et Lemberger, 1999). Les conceptions ne sont donc communicables aux autres que par les représentations externes créées par chacun. Le problème est que la même représentation peut représenter différentes conceptions chez diverses personnes, ou même chez une même personne à différents moments.

Un élève peut avoir plusieurs représentations d'un même concept, chacune mettant l'accent sur différents aspects du concept, et en utilisant toutes ses représentations, l'élève devrait arriver à une compréhension plus grande et plus flexible du concept. On peut voir chacune des représentations comme ayant des rôles complémentaires. La communication de ces conceptions est aussi complexe. Elle peut se faire verbalement (en mots parlés ou à l'écrit), en dessin, en mouvements, etc. Le contexte dans lequel sont produites ces représentations peut aussi aider à trouver ce qui les a produites.

En réalisant une tâche, une expérimentation ou en résolvant des problèmes, les élèves peuvent choisir une représentation pour raisonner dans ce contexte, et une représentation différente pour un autre contexte. Plusieurs facteurs peuvent faire en sorte qu'une représentation soit utilisée plutôt qu'une autre, comme utiliser un type de raisonnement plutôt qu'un autre. Les différences individuelles, la préférence ou la compréhension supérieure d'une représentation peut déterminer pourquoi une représentation est utilisée à la place d'une autre. De plus, certains élèves prennent l'habitude d'utiliser une représentation sans égard au fait qu'il pourrait y avoir un meilleur choix pour une fonction spécifique (Parnafes et diSessa, 2004).

2.6.3. Modèles mentaux

Les modèles mentaux sont un type spécial de représentations mentales, qui ont la caractéristique de préserver la structure des choses qu'ils représentent. Les modèles mentaux sont des représentations dynamiques et génératives qui peuvent être manipulés mentalement pour fournir des explications causales ou faire des prédictions sur des phénomènes physiques. Selon Vosniadou et al. (1999) les modèles mentaux sont construits sur demande pour une situation spécifique, bien que certains puissent être entreposés dans des structures de mémoire à long terme. Ils proviennent de théories spécifiques, qui consistent en des propositions et des croyances inter-reliées sur des phénomènes physiques. Quand se produisent des changements au niveau de ces théories, par l'enseignement ou l'observation, les modèles mentaux peuvent changer. Ils pourront soit s'améliorer par de nouveaux liens entre eux ou avec la théorie, se remplacer et certains même s'éteindront pour laisser place à des modèles plus efficaces et plus explicatifs. Dépendamment de la situation ou des questions posées aux élèves, un modèle pourra être utilisé plus qu'un autre, ou à une plus grande fréquence. Les modèles mentaux qui sont générés lors d'activités cognitives contraignent l'acquisition de nouveaux apprentissages de la même manière que les préconceptions (Vosniadou et al., 2001).

Lors de l'apprentissage d'un nouveau phénomène, les conceptions initiales et les modèles mentaux dont disposent les sujets se révéleront insatisfaisants dans une certaine mesure par rapport aux savoirs théoriques : d'où l'apparition d'un *conflit cognitif*.

2.6.4. Conflit cognitif, moteur du changement conceptuel?

Johsua et Dupin (1993) considèrent le conflit cognitif comme le moteur de la progression du changement conceptuel, c'est lorsque les préconceptions ou les croyances des élèves sont déstabilisées au contact de théories scientifiques. Le

système explicatif des élèves n'est donc plus cohérent et doit être restructuré (Vosniadou et al., 2001) Le conflit cognitif aide à formuler plus clairement le problème, à préciser les systèmes explicatifs en présence, à trouver des informations supplémentaires. En faisant prendre conscience aux élèves des limitations de leurs conceptions, l'utilisation adéquate du conflit cognitif permet de créer un apprentissage stimulant et motivant (Dekkers et Thijs, 1997). Cependant, Vosniadou et Kollias (2005) affirment que l'utilisation du conflit cognitif comme stratégie d'enseignement n'est pas toujours efficace, puisqu'il présuppose que les élèves comprennent le conflit et essaient de le résoudre. Pour qu'il y ait conflit cognitif efficace, l'élève doit avoir conscience de ses propres idées et conceptions, ce qui n'est pas toujours le cas. Même si l'élève a conscience d'un conflit entre ses croyances et le nouveau savoir, il pourra volontairement placer de côté le nouveau savoir, en le mettant en suspend (Chi et Ohlsson, 2005).

2.7. Processus de changement conceptuel

Dans une approche empiriste, le changement conceptuel est plus souvent vu comme un enrichissement et une amélioration des structures conceptuelles existantes, par des processus cognitifs complexes. Selon Vosniadou et al. (2001), l'apprentissage est un processus qui nécessite une réorganisation significative des structures de savoirs existants, et non seulement leur enrichissement. Le processus du changement conceptuel est lent et procède par la suspension graduelle et la révision des préconceptions, et par leur remplacement dans un cadre explicatif (Vosniadou, 1994). Le changement conceptuel peut aussi se réaliser sur le nombre ou la qualité des liens que l'élève a d'un concept scientifique et sur des conceptions procédurales (comme appliquer des apprentissages dans d'autres contextes). Il est aussi possible de le décrire comme un changement qui a lieu quand il y a changement au niveau des *statuts d'une conception* (Beeth et Hewson, 1997).

Le changement conceptuel peut être scindé en deux types : l'enrichissement ou la révision. L'enrichissement de la structure conceptuelle existante est la forme la plus simple de changement conceptuel. En ce sens, c'est la simple addition de nouvelles informations au cadre théorique qui se produit aisément si les nouveaux savoirs sont cohérents avec les préconceptions. La seconde forme de changement conceptuel est la révision, requise quand l'information à acquérir est incohérente avec les croyances ou préconceptions, ou avec la structure relationnelle d'une théorie. Vosniadou (1994) soutient que la révision d'une théorie spécifique serait plus facile que la révision d'une théorie du cadre théorique naïf. D'autres auteurs ont tenté de définir plus précisément le changement conceptuel, en décrivant divers mécanismes.

Echevarria (2003), citant Demastes, Good et Peebles (1996), explique quatre types de changement conceptuel. Chi et Ohlsson (2005), expliquent sensiblement les mêmes processus, les types de changement ayant des dénominations différentes. Ces processus sont :

- *Cascade (cascade)*, où le changement d'un concept clé conduit d'autres concepts à changer;
- *Entier (wholesale)*, qui signifie qu'une théorie soit délaissée complètement au profit d'une autre;
- *Échelonné (incremental)*, qui suppose l'adoption d'un concept particulier et l'élaboration graduelle autour de lui jusqu'à son intégration complète par l'apprenant et,
- *Double construction (dual construction)* qui implique le maintien de deux théories sur le même phénomène sans que l'apprenant soit conscient de leur incompatibilité.

2.7.1. Échecs du changement conceptuel

Cependant, le changement conceptuel n'aboutit pas toujours à une meilleure compréhension d'un concept ou d'un phénomène. Il peut se former chez l'apprenant des conceptions fausses, des inconsistances ou des modèles synthétiques (Vosniadou et al., 2001 et Vosniadou et Kollias, 2005). Si par exemple, les nouvelles informations sont cohérentes avec les conceptions préalables, ces informations seront facilement incorporées aux conceptions des élèves. Au contraire, si elles ne sont pas cohérentes, l'élève aura tendance à les transformer pour qu'elles deviennent cohérentes avec les structures existantes. Chi et Ohlsson (2005) expliquent ce phénomène comme une *distorsion* des nouveaux savoirs durant leur assimilation aux conceptions préalables. De là, la formation d'un *modèle synthétique*, qui ne pourra favoriser une compréhension profonde du concept en question. Si les élèves ne font qu'ajouter de nouvelles informations à leur base de connaissances, ils n'en seront que plus confus d'avoir à négocier entre leurs croyances et ces nouveaux savoirs. Pour Vosniadou (1994), une *misconception* est le produit de la réconciliation de nouvelles informations avec les croyances et préconceptions de l'apprenant, et non seulement une conception déjà présente dans l'esprit de l'élève. L'élève tente d'intégrer le concept scientifique, mais sans renoncer à ses croyances et préconceptions. Aussi longtemps que l'élève entretiendra un modèle mental spécifique (par exemple que la Terre est un disque plat), il sera incapable de concevoir et de comprendre le concept scientifique culturel accepté (la Terre est ronde).

Même après l'enseignement d'un nouveau concept, il est malheureusement fréquent que les élèves ne saisissent et ne le comprennent pas entièrement. Parfois, l'enseignement scientifique est si distant de l'expérience quotidienne que les élèves construisent des représentations de ce qui est enseigné en classe sans lien avec leur savoir de base. Des réponses correctes à des questions scientifiques ne signifient pas nécessairement que les élèves ont compris le concept en question, les élèves répétant

souvent l'information reçue sans complètement la comprendre (Vosniadou, 1994). Si le changement conceptuel est nécessaire à l'apprentissage des sciences, il n'est pas suffisant, puisqu'il ne conduit pas l'élève à s'engager dans un apprentissage futur par le changement conceptuel.

2.7.2. Enseignement et changement conceptuel

Le changement conceptuel n'est pas seulement un changement de croyances et de présuppositions, mais aussi le développement d'un éveil *métacognitif*. En plus des changements conceptuels sur des savoirs déclaratifs ou procéduraux, les élèves doivent aussi expérimenter des changements par rapport à leurs *conceptions de l'apprentissage* (Beeth et Hewson, 1997). Les apprenants doivent apprendre à reconnaître que leurs conceptions diffèrent des véritables savoirs scientifiques et si ces différences sont significatives pour eux. Si l'élève développe l'habileté de réfléchir aux statuts de ces idées et de celles des autres, il démontre une conception de l'apprentissage désirable. De la même façon, les élèves doivent changer leurs conceptions de l'épistémologie des sciences. Ils doivent comprendre et intégrer la rationalité utilisée par la communauté scientifique de choisir entre différentes idées en compétition, tout comme l'habileté à sélectionner et à utiliser de manière cohérente une conception. Les conceptions de l'apprentissage ont aussi une profonde influence sur les conceptions qu'une personne peut acquérir. Par exemple, si la conception de l'apprentissage des sciences d'une personne est seulement le fait de mémoriser des informations d'une autorité externe (par exemple l'enseignant), cela limitera dramatiquement le sens que cette personne peut donner à ses propres conceptions.

Un enseignant peut prendre en compte et faciliter le changement conceptuel dans la pensée des élèves par différents moyens. Principalement en supportant les élèves en leur apprenant comment apprendre des contenus scientifiques, en favorisant un environnement métacognitif qui favorise les élèves à parler de leurs idées et de leurs

conceptions, mais surtout la possibilité de justifier leurs idées, d'en reconnaître les limites et d'en évaluer leurs statuts (Beeth et Hewson, 1997 ; Vosniadou et Kollias, 2005). Le but est de favoriser un environnement d'apprentissage efficace, où les élèves apprendront activement et développeront des processus d'autorégulation qu'ils pourront ensuite réutiliser.

2.8. Changement conceptuel : d'autres perspectives

Même si le changement conceptuel est principalement étudié dans une perspective cognitiviste, Pugh (2001) soutient qu'il peut aussi être étudié dans d'autres perspectives, notamment vygoskienne ou deweyenne. L'approche cognitive s'intéresse aux conceptions individuelles, à leur création, à leur changement, aux conditions de changement et à leur possible résistance à l'enseignement. Elle s'intéresse aussi aux relations entre le changement conceptuel et les processus métacognitifs et motivationnels, le but étant d'aider l'élève à développer une meilleure de théorie ou de phénomène scientifiques. Dans les approches vygoskienne ou deweyenne, ce sont les relations entre l'apprenant et son environnement qui deviennent la base de l'analyse, donc les contextes socioculturels plutôt qu'une série de fonctions et processus séparés du monde extérieur. L'attention est alors portée vers les conséquences du changement conceptuel chez l'élève.

Pugh (2001) suggère des relations personne – environnement pour étudier le changement conceptuel dans le contexte. Spécifiquement, dans l'approche vygoskienne sont considérées les activités socioculturelles, les relations entre l'individu et le milieu social comme éléments d'analyse. Par contre, dans l'approche deweyenne il faut tenir compte de l'expérience comme élément d'analyse, en faisant ressortir les liens entre le changement conceptuel et la participation à des expériences humaines et porteuses de sens. L'unité ou l'élément d'analyse est le concept de base de l'analyse, l'unité pourra alors être dénombrée, précisée et expliquée

Pour Vygotski les concepts se développent par un processus d'internalisation ou d'appropriation : «Les individus participant à des interactions sociales avec d'autres plus *savants*, ils s'approprient naturellement le langage et les concepts de ceux avec lesquels ils interagissent. » Pugh (2001). L'apprentissage a aussi une nature sociale et demeure un processus par lequel l'enfant grandit dans la vie intellectuelle qui l'entoure. C'est seulement en contexte social que des concepts peuvent s'apprendre et que des processus mentaux supérieurs se développent : il serait impossible de parler d'appropriation sans tenir compte de l'activité.

Dans la perspective deweyenne, l'expérience consiste en une relation entre une personne et l'environnement physique ou social. L'environnement transforme la personne, et réciproquement la personne transforme l'environnement. Les expériences de la personne dans son environnement et ses interactions lui permettront de valider ces idées, pour les reconstruire, les réarranger, et d'en arriver à un concept.

Le processus de changement conceptuel implique des transformations des relations personne-environnement, puisqu'il doit mener à une transformation et un enrichissement des expériences de la vie courante. De la même manière, Vosniadou et al. (2001) soutiennent que le plus souvent, le changement conceptuel est initié, facilité et consolidé par des processus sociaux et culturels.

2.9. Problèmes et résolution de problèmes

Les types de problèmes seront préalablement expliqués pour mieux comprendre leurs modes de résolution respectifs. Ensuite, les implications didactiques des situations-problèmes et de l'apprentissage basé sur les problèmes seront discutées. Finalement, la notion de problématisation sera brièvement définie.

2.9.1. Types de problèmes

Les problèmes peuvent être divisés en deux catégories, les problèmes flous (*ill-structured*) ou les problèmes fermés (*well-structured*) (Toussaint et Lavergne, 2005). Les définitions varient passablement selon les auteurs, mais les fondements demeurent les mêmes (Jonassen, 1997; Fabre, 1999; Shin, Jonassen et Mc Gee 2003).

Les problèmes fermés sont ceux qu'on retrouve couramment dans certains manuels de sciences ou de mathématique. Ils présentent tous les éléments du problème, impliquent des concepts et des règles connues de la discipline, par le fait même des principes et des formules à appliquer et sont bien définis avec une solution connue et unique. Ces problèmes se résolvent généralement à l'aide de stratégies spécifiques à la discipline. Des solutions sont générées et vérifiées et si la solution est fautive, le sujet redéfinit le problème ou choisit une autre solution. Ce type de résolution est par contre inefficace avec des problèmes ouverts, rencontrés dans la vie de tous les jours ou dans des contextes professionnels.

À l'opposé, les problèmes flous ne présentent pas un ou plusieurs éléments du problème; le but visé est vaguement défini ou embrouillé. Ces problèmes aboutissent à des solutions et à des modes de résolutions multiples ou même aucune solution. Ces problèmes possèdent plusieurs critères pour évaluer les solutions. De plus, il n'est pas évident de voir les concepts, règles ou principes à suivre pour les résoudre, ils n'offrent aucune règle ou principe à suivre dans la plupart des cas, et

requièrent de l'apprenant de porter des jugements sur le problème et de défendre ses interprétations pas ses opinions et ses croyances personnelles.

Les problèmes flous sont typiquement situés et découlent d'un contexte particulier. Ils sont habituellement ceux qu'on retrouve dans la pratique quotidienne, ils sont donc essentiellement émergents. Ils incluent souvent plusieurs domaines de connaissances pour la production d'une solution et sont plus intéressants et éloquentes pour les élèves (Jonassen, 1997).

La résolution de problèmes flous est plus difficile à décrire en utilisant les stratégies traditionnelles par étapes prédéfinies. Shin et al., (2003) précisent que les problèmes ouverts et fermés possèdent des processus de résolutions différents et subséquentement des habiletés distinctes. Tous deux nécessitent cependant des connaissances déclaratives, procédurales, stratégiques et structurales, de même que des habiletés cognitives et métacognitives. La plus importante composante cognitive de résolution de problèmes ouverts est l'habileté à justifier une solution en la développant par des arguments pour ces interprétations et ces jugements (Jonassen, 1997; Shin et al., 2003). La résolution de problèmes flous peut être reliée au raisonnement basé sur les cas (*case-based*) ou à l'application d'expériences antérieures, telle l'application de raisonnement analogique. De nombreuses habiletés cognitives d'analyse et de synthèse sont en jeu lors de la résolution de problèmes, dont la régulation, la planification et le contrôle.

La définition d'un problème flou étant assez large, leur utilisation peut l'être tout autant. Un problème flou pourra être utilisé pour l'apprentissage d'un ou quelques concepts précis, par exemple le phénomène de la digestion, que pour des questions beaucoup plus larges nécessitant la découverte et l'apprentissage de nombreux concepts venant de différentes domaines, par exemple un problème environnemental.

Le problème flou sera alors construit dépendamment du ou des buts didactiques recherchés.

2.9.2. Situation-problème et apprentissage basé sur les problèmes

Les situations-problèmes sont un type de problèmes ouverts, habituellement utilisée pour l'apprentissage de concepts. Pour Fabre (1999), il existerait trois dimensions obligées à la situation-problème : 1- permettre à l'élève d'investir son ancien savoir, 2- lui faire prendre conscience de l'insuffisance de ce savoir, 3- l'aider à reconstruire de nouvelles procédures. Les connaissances et les représentations de l'élève sont en principe insuffisantes pour qu'il résolve immédiatement le problème confronté. La connaissance que l'on désire voir acquérir par l'élève doit s'avérer l'outil le plus adapté pour la résoudre la situation-problème.

La situation-problème est un outil didactique pour l'apprentissage de nouveaux concepts. Son utilisation n'assure pas automatiquement un apprentissage, bien que ce soit un des buts recherchés, les démarches utilisées lors de la résolution de la situation-problème sont aussi importantes. Durant la résolution, particulièrement lors de la construction du problème, de multiples habiletés cognitives seront utilisées et même améliorées, afin de se créer une représentation du problème et ensuite analyser les données de la situation. Le but est de faire entrer l'élève en activité pour qu'il développe plus que de simples savoirs.

Un environnement d'apprentissage basé sur les problèmes fournit à l'apprenant des mécanismes pour augmenter ses habiletés de pensée pendant l'exploration de problèmes flous et authentiques, tout en participant à des interactions sociales (Song, Grabowski, Kosvalka et Harkness 2006; Capon et Kuhn, 2006b). L'apprentissage basé sur les problèmes constitue une méthode où les élèves devront « apprendre à apprendre » en solutionnant des problèmes réels venant de la société. Ce type d'enseignement-apprentissage vient avant tout du domaine de la médecine. Il

implique plusieurs défis cognitifs puisque les élèves doivent comprendre la situation du problème, clarifier les causes du problème, décider des facteurs à investiguer et générer des hypothèses pour une solution. L'habileté à comprendre la situation du problème se rattache à la notion de problématisation car à cette étape, l'apprenant doit dégager les concepts essentiels et produire de nouveaux savoirs pour solutionner le problème. Les élèves doivent absolument devenir responsables de leurs apprentissages, puis se demander ce qu'ils ont appris, pour pouvoir ensuite les réutiliser.

Les problèmes flous et les tâches complexes qu'ils impliquent sont propres au développement d'une pensée réflexive (Song et al., 2006). On peut comparer la résolution d'un problème flou à un processus de conception (*design process*) (Jonassen, 1997). La première étape serait celle de la découverte du problème. Celui qui résout devra choisir quels éléments sont les plus importants et déterminer la nature du problème en examinant le contexte où il se situe. Le but est de construire un espace problème avec tous les états possibles du problème, les éléments, les causes et les contraintes de ce dernier. Puisqu'un problème flou ne peut être résolu par l'application de règles prédéfinies, il nécessite réflexion et analyse. La personne devra se demander ce qu'elle connaît déjà et comment elle pourra trouver les connaissances nécessaires à la résolution. Elle doit aussi apprendre à relier les aspects du problème à ses connaissances et ses savoirs personnels. Des habiletés métacognitives sont alors essentielles à ce stade.

Les étapes subséquentes requièrent aussi des habiletés métacognitives : générer des solutions possibles, évaluer ces solutions en construisant des arguments, analyser les solutions possibles en fonction de l'espace problème, choisir une solution et l'évaluer et finalement adapter la solution. Tout au long de ce processus, la personne utilisera différents raisonnements pour évaluer les solutions possibles, et surtout justifier la solution choisie, par exemple en évaluant les évidences du problème pour supporter

une conclusion. Au cours de ces étapes, le jugement réflexif pourra aussi aider l'élève. Le but est d'engager l'élève à considérer tous les points du problème et de sa solution en se basant sur des évidences et sur le raisonnement.

2.9.3. Résolution de problèmes et problématisation

Un problème fait toujours partie d'une situation et les deux sont reliés : il ne peut y avoir de situation sans problème, et en dehors de la situation, le problème n'est plus le même. «La problématisation de la situation par la personne commence ainsi, par cette sorte de prise de conscience d'être en situation. Prise indépendamment de la personne qui agit, la situation n'a pas de sens.» (Fabre, 1999). Le sujet doit d'abord déclarer la situation problématique, donc poser le problème et se l'approprier.

Les problèmes ou situations nécessitant une réelle problématisation sont loin de ceux des manuels scolaires ou des exercices numériques. C'est habituellement dans des situations floues, sans réels problèmes apparents, qu'un individu pourra problématiser. Avant de pouvoir résoudre le problème, la personne devra reconnaître les éléments ou références présents dans la situation. Le sujet réalise un examen critique de la situation, pour ensuite utiliser les éléments comme base de résolution. C'est ce qu'on peut appeler la «construction du problème». Analyser la situation et en faire ressortir les éléments importants. Ces éléments serviront d'appuis pour la production d'hypothèses et de solutions.

Par la problématisation, le sujet se doit de formuler le problème sous une forme alternative et trouver des procédés pour le résoudre. L'élève doit prendre en compte les questions et en faire des questions «*pour lui*». Donc avant de tenter de résoudre un problème, le sujet devra se l'approprier, ce qui veut dire que ce problème doit devenir le sien, qu'il se sente interpellé. Apprendre à problématiser consisterait en deux choses : apprendre à se poser des problèmes et à poser une problématique pour

les résoudre, et deuxièmement à avoir conscience de ce qu'on fait, de le reconnaître, pour pouvoir ensuite le reproduire (Pettier, 2004).

La personne problématise la situation qu'elle construit et reconstruit sans cesse tout au long de son action. Cette reconstruction se fait dans un espace *problématisé*, dans lequel la personne construit des réponses, pour se rendre au but voulu : solutionner le problème. Mais ces constructions sont temporaires et jamais transférables, puisqu'elles sont reliées à la situation en jeu. Pour être utilisées dans d'autres situations, elles devront être adaptées puisque la problématisation est tout autant tributaire de la situation que des constructions de la personne (Joannert, 2004). Fabre (1999) voit la problématisation en différentes phases : 1) la perception du problème, 2) sa construction, 3) la suggestion de solutions possibles, 4) l'examen raisonné des suggestions et de leurs conséquences et 5) le test des hypothèses. La perception du problème est essentielle, puisque c'est à l'intérieur d'elle que se fera la prise de conscience.

Cependant, l'activité de problématisation a rarement été modélisée en sciences de l'éducation, et elle est encore mal cernée. Orange (2006) a tenté de décrire la problématisation en didactique des sciences, mais sans véritable modèle théorique ou fondements épistémologiques. De plus, la problématisation qu'il décrit se déroule dans des contextes de débats en classe de sciences, ce qui restreint la nature même du phénomène. Cependant, certains éléments de sa vision de la problématisation sont d'intérêt, et méritent tout de même une attention, surtout du point de vue didactique. Il soutient que la problématisation des savoirs scientifiques a des impacts sur la nature des savoirs enseignés, les processus d'apprentissage et surtout les conditions didactiques des apprentissages. Les problèmes utilisés doivent être pertinents et les élèves doivent pouvoir s'y engager. Les élèves devront aussi posséder un niveau de connaissances «optimal», ce qui signifie assez de connaissances pour s'engager, mais assez limité pour que des idées et des savoirs se développent. Mais pour mener à bien

des situations de problématisation en classe, les enseignants doivent transformer leurs conceptions épistémologiques, maîtriser didactiquement les domaines enseignés et la conduite de situations ouvertes, souvent imprévisibles.

2.10. Développement cognitif et habiletés de raisonnement des adolescents

2.10.1. Développement cognitif

Les recherches qui étudient le développement cognitif des enfants et des adolescents font presque inévitablement référence aux travaux d’Inhelder et Piaget (Echevarria, 2003; Klaczynski, 2001; Kuhn et al., 1988; Kwon et Lawson, 2000) Schauble et al., 1991). Pressley et McCormick (2007) décrivent la théorie des quatre stades du développement de Piaget où chaque stade est caractérisé par le développement de nouvelles structures cognitives, ou schèmes. L’évolution peut se faire à des rythmes différents pour chaque individu, mais les stades apparaissent toujours dans un ordre invariant. Cette progression s’expliquerait par plusieurs facteurs : la maturation biologique, l’expérience et les processus d’assimilation et d’accommodation. L’assimilation est l’incorporation de nouvelles informations aux structures cognitives existantes. L’accommodation est la modification des structures cognitives existantes en réponse à l’environnement.

Le premier stade est le *sensorimoteur*, suivi du stade *préopératoire* puis du stade des *opérations concrètes*. Le dernier stade, débutant à l’adolescence est le stade des *opérations formelles*. Inhelder et Piaget (1955) présentent le stade des opérations formelles comme le stade culminant dans la séquence des stades du développement cognitif. Une seule structure logique émergerait à l’adolescence et cette dernière assurerait la combinaison systématique et le contrôle des variables.

Le centre de leur définition d'opérations formelles est le concept d'«opérations sur opérations». Les adolescents peuvent alors réfléchir (opérer) sur des opérations concrètes de classification ou de relation. Ces opérations de deuxième ordre sont organisées en une logique structurée où les deux plus importantes stratégies cognitives sont le contrôle des variables et la combinaison systématique de ces variables. Ce sont des opérations mentales sur d'autres opérations élémentaires de classification et de relation, opérations caractéristiques du stade précédent des opérations concrètes. D'autres structures opératoires de seconds ordres émergeraient aussi, tels les raisonnements proportionnels et corrélationnels.

Kuhn et Franklin (2006a) soutiennent que Piaget avait en partie raison, ce dernier soutenant que : « la pensée sur sa propre pensée » est l'élément clé du développement cognitif de l'adolescence. Les auteurs soutiennent même qu'il est impossible et qu'il faut abandonner l'idée de marquer précisément en mois, en années - et même jamais- le moment d'émergence d'une structure cognitive logique des adolescents. Alternativement, le stade des opérations formelles pourrait être relié à la métacognition ou à un contrôle sur la pensée.

Malgré les critiques qui peuvent être faites sur les travaux de Piaget, il n'en demeure pas moins que beaucoup de recherches visent toujours à examiner, revoir ou vérifier ses théories, surtout au niveau du développement cognitif, et particulièrement au niveau de l'enfant.

2.10.2. Habiletés de raisonnement en fonction du développement

Les recherches en neuro-imagerie fournissent désormais des explications sur le développement du cerveau dans la deuxième décennie de vie. Deux types de changement se produisent : un est dans la matière grise qui est produite en plus grande quantité à la puberté, suivi d'une réduction des connexions neurales qui ne seront plus utilisées. Ensuite dans la matière blanche, une augmentation de l'isolation

de connections neurales déjà établies, améliorant leur efficacité. Du milieu jusqu'à la fin de l'adolescence, les adolescents auraient moins de connections neurales, mais des connections plus sélectives, plus fortes et plus efficaces que celles dont ils disposaient enfants (Kuhn, 2006b; Steinberg, 2005). Ces deux changements du cerveau favorisent l'amélioration du traitement de l'information. Cette amélioration peut se faire de trois façons, soit en augmentant la vitesse, en améliorant la capacité ou en améliorant l'inhibition. Kuhn et Franklin (2006a) soutiennent que plusieurs études concluent que la vitesse de traitement continue d'augmenter de la jeune enfance jusqu'au milieu de l'adolescence.

Parallèlement, Kwon et Lawson (2000) supportent le fait que l'acquisition d'habiletés cognitives est influencée par une maturation neurologique. Dans leur étude reliant la croissance du cerveau avec le développement du raisonnement scientifique et le changement conceptuel, ils soutiennent que l'activité du lobe préfrontal est hautement reliée aux habiletés de raisonnement scientifique. De plus, les résultats montrent que l'acquisition de concepts scientifiques est directement liée aux habiletés de raisonnement scientifique, et que la maturation des lobes préfrontaux influence l'habileté à rejeter intuitivement des *misconceptions* (Vosniadou, 1994) et à accepter les concepts scientifiques.

Pour la majorité des individus, les habiletés de raisonnement se développeront jusqu'à l'âge adulte et les performances de raisonnement augmentent systématiquement avec l'âge (Overton, Ward, Noveck, Black et O'Brien, 1987; Klaczynski et Narashimham, 1998; Kuhn et Franklin, 2006a). De toute évidence, les habiletés de raisonnement des adolescents sont supérieures à celle des enfants, et parfois égales à celles des adultes. Cependant, dans les études sur le raisonnement, les contextes et conditions d'expérimentation tendent à montrer que dépendamment des tâches, les résultats peuvent varier. Par exemple, en utilisant des contenus sémantiques familiers, il serait plus facile pour les sujets de démontrer des habiletés

de raisonnement supérieur qu'avec seulement des tâches abstraites ou composées de variables. De plus, il y a variabilité autant inter qu'intra individus par rapport à l'âge d'émergence des habiletés d'opérations formelles et variabilité quant au contexte. Dans certains contextes, des habiletés de raisonnement pourront être identifiées, mais dans d'autres elles seront absentes. Il devient donc difficile de déterminer hors de tout doute quelles habiletés de raisonnement sont disponibles à des âges bien précis. Certains individus pourront maîtriser très tôt dans l'adolescence des habiletés de raisonnement que certains adultes ne développeront jamais.

Les habiletés de raisonnement scientifique augmentent durant l'adolescence (Klaczynski et Narasimham, 1998). Kwon et Lawson (2000) mentionnent qu'entre 12, 13 et 14 ans, il n'y a pas de différence statistique significative, mais la performance s'améliore considérablement pour les sujets de 15-16 ans. Klaczynski et Narasimham (1998) soulignent que tard dans l'adolescence, les adolescents sont capables de raisonnement déductif efficace, et possèdent des connaissances rudimentaires sur les principes du raisonnement propositionnel. Cependant, les adolescents et les jeunes adultes (17 ans) auraient de la difficulté avec des systèmes causaux complexes (plusieurs variables avec des liens causaux multidirectionnels) à cause des modèles limités qu'ils possèdent du raisonnement causal. Ils possèderaient plutôt des modèles de raisonnement causal simples, linéaires et unidirectionnels, de là émaneraient les difficultés à résoudre des problèmes à plusieurs variables (Hung et Jonassen, 2006).

Dépendamment des domaines de recherches, tous ne s'entendent pas sur le développement du raisonnement causal. Des chercheurs étudiant le raisonnement causal ont tenté d'identifier des règles d'inférences applicables pour tous les domaines, et soutiennent que ces règles émergent dans l'enfance et demeurent établies à l'âge adulte, ces derniers démontrant certaines habiletés clés supérieures. De ce fait, les adolescents seraient capables de raisonnement causal. Parallèlement,

les chercheurs en raisonnement scientifique sur des phénomènes causals ont plutôt exploré les différences intra et inter individu, et ont proposé un long développement des habiletés, qui varient en fonction de l'individu et du contexte (Zimmerman, 2007).

Les relations causales sont comprises chez l'enfant, mais un développement a lieu entre 10 et 18 ans et l'habileté de raisonnement déductif formel (raisonnement conditionnel) ne serait pas très présente avant la deuxième année du secondaire (environ 13 ans) mais tard dans l'adolescence (17 ans) les individus démontrent un haut niveau de compétence. Ward et Overton (1990) soutiennent que 80 % des adolescents de douzième année (âge moyen : 17 ans) peuvent raisonner de façon déductive sur des problèmes conditionnels. Durant l'adolescence se développe des compétences de logique propositionnelle et de prédiction, pré requis essentiel à un raisonnement déductif systématique de type conditionnel, dans un système complexe de proposition. Cependant, le raisonnement déductif ne serait pas observable dans tous les contextes, les contenus familiers augmentant la performance (Overton et al., 1987; Ward et Overton, 1990)

De la même manière, les habiletés de raisonnement analogique de haut niveau relationnel augmentent avec l'âge, en raison de l'augmentation de la capacité de la mémoire de travail et de l'amplification des savoirs relationnels, et les adolescents sont capables autant de générer des analogies que de résoudre des problèmes par transfert analogique (Brown et Clement, 1989; Bearman et al., 2002; Richland, Morrison, Holyoak, 2006). Plus les connaissances dans un domaine sont étendues, plus les raisonnements analogiques peuvent être complexes, car les relations à l'intérieur même des concepts doivent être comprises. Donc dépendamment des domaines, les adolescents pourront démontrer différents niveaux de raisonnement analogique.

3. Méthode

3. Méthode

D'abord seront commentées les tendances de la recherche en didactique des sciences. Ensuite ce troisième chapitre traitera de la méthodologie de la recherche, particulièrement du type de recherche, de l'échantillon, des méthodes de collecte et d'analyse des données. Finalement, des critères de scientificité seront démontrés.

3.1. La recherche en didactique des sciences

La didactique des sciences est un champ de recherche qui s'inscrit dans la lignée des travaux visant à préciser les objectifs de l'enseignement scientifique, à en renouveler les méthodologies et à en améliorer les conditions d'apprentissages pour les élèves (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 1997). Elle se veut pluridisciplinaire, puisqu'elle s'intéresse à plusieurs objets d'apprentissage comme la biologie, la physique, l'environnement ou la chimie. La didactique des sciences étudie principalement les contenus de l'enseignement scientifique, mais aussi les aspects méthodologiques, et tente d'analyser et de diagnostiquer les problèmes liés à l'enseignement des sciences, qui peuvent demeurer invisibles aux enseignants dans le quotidien (Laurin et Gaudreau, 2001). Le but est de mieux comprendre la réalité des processus d'apprentissage en sciences et de produire des connaissances nouvelles sur le système d'enseignement des sciences, sur les modalités et les conditions de son fonctionnement. Des thèmes phares sont au cœur de la didactique des sciences : les concepts scientifiques, la transposition didactique, le changement conceptuel, les situations-problèmes, l'apprentissage, l'épistémologie des sciences, l'obstacle, pour ne nommer que ceux-là. Les didacticiens s'intéressent généralement à trois orientations : épistémologique, praxéologique (l'intervention didactique en classe) et psychologique, si la réflexion porte essentiellement sur le sujet qui apprend (Jonnaert, 2001).

3.2. Type de recherche

L'objectif principal de cette recherche était de démontrer les habiletés cognitives impliquées dans le raisonnement scientifique des élèves. Cette étude est de nature qualitative pour démontrer les habiletés de raisonnement scientifique utilisées et comprendre, de l'intérieur, la nature et la complexité des interactions d'un environnement spécifique, tout en tenant compte de la dynamique de cet environnement (Karsenti et Savoie-Zajc, 2004). L'épistémologie sous-jacente est interprétative puisque c'est la dynamique du phénomène étudié que le chercheur veut arriver à comprendre. Les savoirs produits sont rattachés aux contextes à l'intérieur desquels ils ont été produits et doivent être vus comme dynamiques et temporaires, puisqu'ils continuent d'évoluer, comme dans cette étude. La recherche qualitative permet de recueillir des données décrivant des situations d'intérêts et de laisser les explications émerger de ces descriptions (Karsenti et Savoie-Zajc, 2004). L'épistémologie interprétative est liée au désir de comprendre le sens de la réalité des individus; elle adopte une perspective systémique, interactive, puisque la recherche se déroule dans le milieu naturel des sujets.

Les situations-problèmes servaient à provoquer l'utilisation d'habiletés cognitives, par le fait même le raisonnement scientifique. Il importait aussi de faire ressortir les liaisons entre ces habiletés cognitives et comment et quand elles sont observables.

3.3. Échantillonnage

La collecte des données a été réalisée durant les mois d'avril et mai 2007 dans deux classes de quatrième secondaire de la Commission scolaire du Chemin-du-Roy à Trois-Rivières, au Québec. Les soixante-quatre (64) élèves provenaient de milieux socio-économiques divers. Ces élèves étaient inscrits dans le champ d'intérêt «Langue-Étude», où ils participaient à huit heures de cours de langues (anglais, espagnol) par cycle de neuf jours. Ils ont opté pour les cours de mathématiques et de

sciences avancées, connus sous le sigle 436. Ils y étudiaient donc plus de contenus et la majorité de ces contenus nécessitaient de plus grandes aptitudes scolaires, voire des habiletés intellectuelles plus avancées. L'échantillonnage était constitué de vingt-neuf (29) garçons et trente-cinq (35) filles, vingt-cinq âgés de 15 ans et trente-neuf âgés de 16 ans. Le nombre de sujets a fluctué durant la collecte de données, dépendamment de l'absence de différents élèves lors de la première ou de la deuxième collecte.

Les élèves participants à l'étude devaient signer un formulaire de consentement de même qu'un parent. Certains élèves n'ont pas rendu le formulaire complété, mais ils ont tout de même participé à la collecte des données. Tel qu'indiqué au préalable, ces copies n'ont pas servi à l'analyse. Pour préserver la confidentialité des sujets, les noms ont été remplacés par des codes alphanumériques.

3.4. Collecte des données

Les collectes de données ont été réalisées dans le cadre du cours de sciences physiques des élèves. Des situations-problèmes ont été présentées aux élèves et ils devaient tenter de les résoudre. Ces situations-problèmes n'étaient pas structurées comme une séquence d'apprentissage, mais bien comme des moments précis. C'est le domaine d'étude qui liait les situations-problèmes : la lumière et la flottaison étant des phénomènes physiques.

La première collecte de données, d'une durée d'une heure, portait sur le thème de la flottaison. Les élèves ont répondu à trois situations-problèmes différentes, regroupées dans un seul document. Suite aux situations-problèmes sur la flottaison, les élèves ont réalisé des manipulations en laboratoire en équipe de deux ou trois. Chaque équipe disposait des mêmes items que ceux présentés dans les situations-problèmes pour expérimenter: un ludion, un sou noir, un bouchon de liège, du papier d'aluminium, un bécher et de l'eau. Durant les manipulations, les discussions entre

élèves ont été enregistrées. La deuxième collecte de données s'est déroulée quelques jours plus tard. Pour cette collecte, les élèves ont répondu à six situations-problèmes sur le thème de la lumière.

3.5. Outils de collectes de données

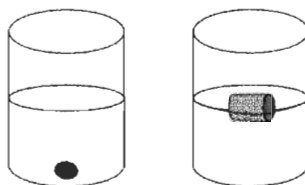
Les situations-problèmes ont été l'outil principal des collectes de données de la recherche. Deux documents différents ont été administrés aux élèves sur deux périodes différentes, mais assez rapprochées dans le temps, à environ une semaine d'intervalle. Une semaine semble un délai raisonnable, puisque les élèves se souvenaient des consignes et des attentes de la chercheuse, bien qu'elles ont été répétées à chacune des collectes de données.

Les documents étaient constitués uniquement de situations-problèmes, dans le but de faire ressortir les habiletés de raisonnement dans les réponses des élèves. Le premier document, sur la flottaison, contenait trois situations-problèmes seulement, toutes trois sur le même thème mais traitant d'aspects différents. Le second, sur la propagation de la lumière, contenait six situations-problèmes, dont deux sont présentées en exemple. Les détails sur la confection des outils de collectes seront expliqués dans la dernière partie traitant des critères de scientificité de la recherche. Les situations-problèmes suivantes sont tirées des deux questionnaires, mais présentées de façon succincte.

Exemples de situations-problèmes portant sur le thème de la flottaison :

1)

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



Exemples de situations-problèmes portant sur le thème des comportements de la lumière :

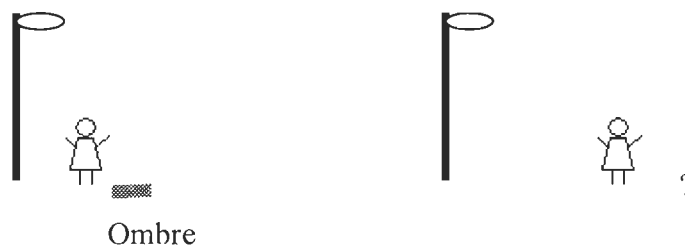
1)

Si vous voyez ce croissant de lune le soir dans le ciel, où pourriez-vous situer le Soleil, la Terre et la Lune sur un schéma? Réaliser un schéma pour expliquer la position du Soleil, de la Terre et de la Lune, ainsi que votre position d'observateur sur la Terre. Justifiez votre dessin par des explications.



2)

Le soir, Isabelle est debout devant un lampadaire. Si elle *s'éloigne* du lampadaire, son ombre deviendra-t-elle plus longue ou plus courte? Pourquoi?



Les questions posées portaient sur des sujets qui n'avaient jamais été abordés dans les cours de sciences des élèves durant leur parcours scolaire. Ils devaient donc répondre à des questions sur des thèmes qui leur étaient pratiquement inconnus. Pour toutes les questions, ils devaient tenter d'expliquer des phénomènes physiques, en incluant le plus de justifications et d'éclaircissements possibles. Certaines questions demandaient aussi aux élèves d'inclure des schémas dans leurs réponses. Le but n'est nullement d'analyser la véracité ou la justesse de leurs réponses, seuls les raisonnements sont d'intérêt ici. Comme le soulignent Hogan, Nastasi et Pressley (2000) dans leur étude du raisonnement scientifique lors de discussions entre pairs et guidées par l'enseignant,

«La complexité des raisonnements des élèves est démontrée par leurs habiletés à élaborer et justifier leur compréhension des phénomènes, plutôt qu'en jugeant de leur pensée et leurs savoirs seulement en les comparant à ceux des experts. (p.398) »

La chercheuse a tenu un journal de bord avant, pendant et après les collectes de données, pour consigner des observations d'intérêt pour la recherche. Ceci a permis

une distanciation quant aux observations recueillies dans sa propre classe, la vision de l'enseignante ne devant pas influencer sur la collecte et l'analyse des données. De la même manière, les deux collectes de données ne devaient pas servir à l'évaluation des élèves dans le cours de sciences physiques.

Les recherches sur le raisonnement utilisent largement les questionnaires comme méthode principale de collecte de données, autant en sciences cognitives qu'en didactiques de sciences. C'est essentiellement le type de questionnaire qui diffère. En sciences cognitives et en psychologie, les chercheurs utilisent souvent des questionnaires à choix de réponses ou à réponses fermées, des batteries de tests standardisés, des simulations ou des associations (Black et O'Brien, 1987; Ward et Overton, 1990; Watters et English, 1995; Overton et al., 1998 ; Klaczynski, 2001; Hung et Jonassen, 2006; Richland et al., 2006). De plus, ces instruments de collectes de données résultent généralement d'une méthodologie de type quantitative.

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

Pour cette recherche, le but était de laisser libre cours aux sujets d'exprimer leur pensée et leurs modes de raisonnement. Sans égard à la véracité de leurs raisonnements ou leur compréhension, ce sont leurs interprétations, leurs explications et les termes et concepts utilisés qui intéressaient la chercheuse.

Le journal de bord de l'enseignante (pour consigner les observations) et des traces audio ont été utilisés comme instruments d'analyser des interactions entre les élèves. Kawulich (2005) soutient que l'utilisation de différentes approches de collecte de

données et d'observation mène le chercheur à une meilleure compréhension du contexte social et de ses acteurs. Karsenti et Savoie-Zajc (2004) soulignent l'intérêt de combiner plusieurs stratégies de collecte pour faire ressortir différentes facettes du problème étudié et pour corroborer les données reçues.

3.6. Méthode d'analyse des données

Suite au dépouillement des questionnaires, les réponses des élèves ont été soumises à une analyse de contenu, qui consiste à regrouper en catégories ou en thèmes tous les énoncés qui se rejoignent par le sens (Samson, Toussaint et Pallascio, 2004). Mucchielli (2006) décrit l'analyse de contenu comme un examen objectif, exhaustif, méthodique et si possible quantitatif, d'un texte (ou d'un ensemble d'informations) en vue d'en tirer ce qu'il contient de significatif par rapport aux objectifs de la recherche.

3.6.1. Les étapes de l'analyse de contenu

Pour Bardin (1989), l'analyse de contenu se réalise en quatre étapes : la pré-analyse, l'exploitation du matériel, le traitement des résultats et l'interprétation.

La pré-analyse est la première lecture des données, au cours de laquelle le chercheur observe de façon générale le matériel, ce que Bardin (1989) nomme la lecture flottante. Cette pré-analyse inclut le choix des sources de données, la formulation des hypothèses de recherche et la correspondance d'indicateurs entre les données et les hypothèses. Bardin (1989) définit l'hypothèse comme une affirmation provisoire dont l'origine est l'intuition et qui reste en suspend tant qu'elle n'a pas été vérifiée par les données finales.

La deuxième étape est l'exploitation du matériel, phase où l'on décortique les données brutes. Bardin (1989) recommande deux méthodes complémentaires. Le

codage est la transformation des données brutes du texte par découpage et par dénombrement, et permet d'obtenir des représentations du contenu. Le but est d'identifier les éléments à coder. La deuxième méthode est la catégorisation, qui est une opération de classification. Les éléments sont différenciés, puis regroupés par genre d'après des critères préalablement définis.

La troisième étape est le traitement des résultats. Cette étape permet de vérifier si les données accumulées sont représentatives. On vérifie alors si les données sont suffisamment présentes pour être prises en compte, et si les données récoltées représentent bien le matériel original.

La quatrième étape est l'interprétation. Cette dernière étape se veut une analyse des catégories. Cette interprétation peut se faire de différentes façons (descriptive, qualitative, quantitative), le but étant de répondre aux questions de recherche. L'interprétation pourra déterminer des contenus latents ou comparer les contenus à des modèles théoriques.

3.6.2. L'analyse de contenu de la recherche

L'analyse de contenu de la recherche a été réalisée selon les écrits de Bardin (1989) et Mucchielli (2006). Compte-tenu de la quantité de données recueillies et de la quantité d'informations présentes dans les réponses, certaines réponses ont dû être indexées. Cette première étape a permis de réduire les réponses en énoncés clairs, ou de décomposer les phrases en énoncés séparés possédant chacun des sens propres. Le but était de faire ressortir l'essentiel des éléments de réponses.

Par rapport aux concepts scientifiques le vocabulaire utilisé par des élèves n'est pas toujours juste. Ils utilisent souvent des concepts utilisés dans le langage courant et non pas le terme scientifique consacré. Un exemple courant est par exemple le mot « poids » souvent utilisé à tort en remplacement du mot « masse ». Certaines unités

de sens furent classifiées en fonction du sens donné par le sujet, et non en fonction du sens strictement scientifique.

L'analyse s'est donc concentrée sur le sens d'un énoncé et non comment il est dit, ou les mots utilisés par les sujets. Mucchielli (2006) soutient qu' : « *Il est absolument inutile de se demander si c'est le mot, la proposition ou la phrase qui sont les unités de signification, car l'unité de sens doit être cherchée dans le sens (p. 42)* ».

Suite au codage des réponses, une catégorisation a été réalisée. Les catégories ont été induites du contenu des réponses, et non prédéterminées à l'aide d'hypothèses de travail puisque la chercheuse ne pouvait prévoir à l'avance le sens des réponses des sujets. Les catégories choisies devaient impérativement être exhaustives, exclusives, objectives et pertinentes. Les catégories furent choisies au fur et à mesure du dépouillement, ce que Mucchielli (2006) explique par « un mouvement de va et vient entre la constitution des rubriques (catégories) et le dépouillement des réponses une à une ». Deux tendances ont été utilisées pour catégoriser les réponses: classer les réponses par concepts scientifiques (masse, volume, densité, forme), ou selon des catégories d'explications. C'est donc le sens et l'intentionnalité des éléments de réponses des élèves qui ont été catégorisés. Pour chacune des situations-problèmes, les différentes catégories de réponses ont été analysées de manière qualitative et seront décrites dans le chapitre suivant.

Il s'agit d'analyser le raisonnement utilisé dans des situations-problèmes précises et dans une situation donnée : un cours de sciences physiques de quatrième secondaire. Cette recherche ne cherche donc pas directement à analyser le raisonnement scientifique d'élèves dans la *réalité*. Aussi, cette analyse s'est arrêtée aux raisonnements scientifiques des élèves. La récurrence de certaines unités de sens dans les réponses a aussi été vérifiée, et ce, à l'intérieur des réponses d'un même questionnaire. L'analyse n'a pas permis le recoupement des données d'un

questionnaire à l'autre, ni d'analyse par rapport au sexe des élèves. C'est donc seulement les raisonnements scientifiques par rapport aux phénomènes physiques qui ont été analysés et décrits.

3.6.3. Critères de scientificité et distanciation

Deux critères de scientificité, la crédibilité et la fiabilité, ont été particulièrement pris en compte durant cette étude. Pour l'atteinte de ces deux critères, divers types de triangulation ont été utilisés, en plus d'un retour constant sur l'objectif de la recherche et sur la méthodologie utilisée.

La triangulation est définie comme une stratégie de recherche au cours de laquelle le chercheur superpose et combine plusieurs perspectives, qu'elles soient théoriques ou venant des méthodes et des personnes (Karsenti et Savoie-Zajc, 2004). Elle peut aussi être décrite comme «l'utilisation de multiples méthodes de collectes de données, de sources de données, d'analyses ou de théories pour augmenter la profondeur des conclusions de recherche» (Gall, Gall, et Borg, 2005). Le concept prend en considération la relativité des points de vue, essentielle à l'examen de la diversité et la complexité de l'être humain. Cette démarche s'oppose à l'approche univoque- un seul outil, une seule théorie, un seul observateur. Elle vise à mettre en débat les différentes étapes de la recherche pour éviter la clôture «idéologique», la conception d'une réalité ponctuelle et d'une interprétation unique. Elle permet de suivre la réalité dans sa mouvance spatio-temporelle et dans sa complexité (Paquay, Crahay et De Ketele (2006).

La majorité des techniques de triangulation augmentent la crédibilité d'une recherche, mais particulièrement la triangulation des méthodes et des sources. Paquay et *al.* (2006) précisent que la triangulation du chercheur augmente la fiabilité. Schwandt (1997, dans Karsenti et Savoie-Zajc, 2004) la définit comme une procédure qui permet d'avancer que le critère de validité a été rencontré.

Au cours de cette recherche, divers types de triangulations ont été utilisés, dans le but d'assurer la scientificité. L'utilisation de plusieurs outils de collectes, les questionnaires et les enregistrements audio, en plus de l'observation participante, ont augmenté la fiabilité des données recueillies, en plus d'assurer la crédibilité de la recherche. La triangulation théorique a obligé la chercheure à un retour constant entre les données, leur analyse et l'interprétation, en lien avec des théories complémentaires autant que concurrentes.

La triangulation des chercheurs, dans une certaine mesure, a eu lieu durant tout le processus des choix méthodologiques et de construction des outils, par des discussions et argumentations entre la chercheure et le directeur de recherche de cette dernière. De plus, plusieurs membres du laboratoire LERTIE de l'UQTR ont participé à la validation du questionnaire sur la propagation de la lumière. Le questionnaire a été bâti par la chercheure et son directeur de recherche, puis envoyé à cinq membres du laboratoire LERTIE faisant des recherches en didactique des sciences et en sciences cognitives et qui connaissent le concept de raisonnement scientifique. Ils devaient analyser le questionnaire par rapport à trois critères principaux, soit la clarté des questions, les contenus scientifiques et la valeur ou la portée des questions par rapport à des sujets de quinze et seize ans. Toute amélioration quant à la forme et au contenu du questionnaire était aussi souhaité de leur part. Grâce à leurs commentaires, le questionnaire a augmenté sa valeur et sa validité. Certaines questions étaient inspirées de Métioui, Cyr, Gagné et Brassard (2002), dans une étude des conceptions d'enseignantes en formation sur la propagation de la lumière.

Dans un second souci de validité, ce questionnaire a été soumis à quelques sujets qui ne participent pas à la recherche pour s'assurer de leur compréhension des questions et s'assurer que la collecte apporte suffisamment de données au chercheur. Le premier questionnaire n'a pas nécessité de telles démarches puisqu'un questionnaire

semblable avait déjà été utilisé dans des recherches de Toussaint (2002) et a démontré sa validité et sa fiabilité.

4. Analyse

4. Analyse

L'analyse des données se fera en deux parties, une pour chaque questionnaire. Les résultats seront analysés au fur et à mesure de leur présentation. Pour chacune de ces parties, les concepts scientifiques en lien avec la théorie de chaque thème seront exposés. Les catégories seront expliquées et appuyées par des réponses des sujets. Pour quelques situations-problèmes sur le thème de la lumière, des schémas des élèves seront présentés pour soutenir leurs raisonnements. Les termes *questions* et *mise en situation* seront aussi utilisés au cours de l'analyse, toujours en référence au terme *situation-problème*. Les propos des sujets sont présentés en intégralité, sans aucune modification ou correction au niveau de la langue.

4.1. Analyse - Questionnaire sur la flottaison

4.1.1. Ça flotte ou ça coule? Explications scientifiques de la flottaison

La flottaison et les concepts qui y sont rattachés n'avaient jamais été étudiés par les élèves en classe de sciences, et ce, peu importe le niveau scolaire. Aucun des sujets n'a fait référence au principe d'Archimède dans les réponses.

Le principe d'Archimède s'énonce comme suit : « Tout corps plongé dans un fluide subit une force vers le haut égale au poids du fluide déplacé ». En réalité, deux forces sont en jeu dans la flottaison : le poids de l'objet et la poussée d'Archimède. Premièrement le poids de l'objet, ou la force gravitationnelle, est exprimé en Newtons (N).

Le poids d'un objet est directement proportionnel à sa masse en kilogrammes, puisque :

$$W = Fg = m \cdot g \quad \text{où}$$

- w** est le poids en Newtons
- Fg** la force gravitationnelle en Newtons
- m** la masse en kilogramme
- g** l'intensité de l'attraction gravitationnelle en Newton/Kilogramme

Cette force attire les objets vers le bas, comme n'importe quel objet à la surface de la Terre. Dans un fluide (ici un liquide), la poussée d'Archimède se dirige vers le haut. Le principe d'Archimède permet aussi d'expliquer qu'une montgolfière ou un dirigeable puissent flotter, les fluides en présence étant gazeux plutôt que liquides.

La poussée d'Archimède est une force verticale qui définit la flottabilité d'un objet. Plus l'objet déplace un grand volume de fluide, plus la poussée d'Archimède sera grande. Ce qui explique aussi en quoi la forme d'un objet influe sur la flottabilité. Par exemple, une *boule* de pâte à modeler coulera, tandis que modelée en *coque* comme un bateau, elle flottera. Plus de détails seront donnés à l'analyse de la question trois du questionnaire sur la flottaison.

On peut calculer la poussée d'Archimède en calculant le poids de l'eau déplacée. Il faut d'abord déterminer la masse du volume d'eau déplacé. Si 1 litre d'eau est déplacé, cela équivaudra à 1 Kilogramme d'eau. On multipliera ensuite par l'attraction gravitationnelle (*g*) pour déterminer la force d'Archimède. On calcule la poussée (force) d'Archimède comme suit :

$$F_a = m \cdot g \quad \text{où}$$

- F_a** est la force d'Archimède en Newton
- m** la masse en kilogramme (du volume d'eau déplacé)
- g** l'intensité de l'attraction gravitationnelle en Newton/Kilogramme

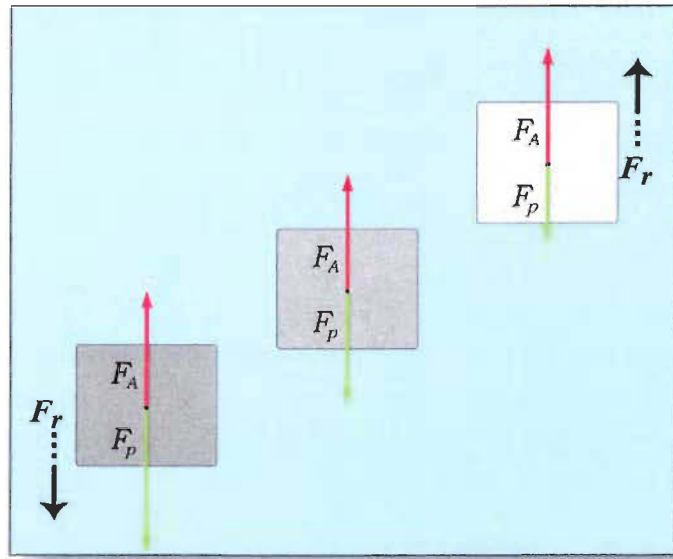


Figure 1 Force d'Archimède et poids de l'objet

C'est la valeur et le sens de la force résultante de ces deux forces qui dictent le comportement des objets (symbole : F_r ; total des forces en présence).

Explications de la figure 1 :

Figure de gauche : La poussée d'Archimède est plus faible que le poids de l'objet, F_r est dirigée vers le bas : l'objet coule au fond.

Figure du centre : La poussée d'Archimède est égale au poids de l'objet, F_r égale à zéro : l'objet reste immergé à sa position.

Figure de droite : La poussée d'Archimède est plus forte que le poids de l'objet, F_r est dirigée vers le haut : l'objet flotte à la surface.

D'une autre manière, la densité peut expliquer la flottabilité d'un corps dans l'eau douce. Si la densité d'un objet est plus grande que celle l'eau, il coulera, au contraire, si elle est plus faible, il flottera. La densité est le rapport entre la masse volumique d'un corps et la masse volumique d'un corps de référence, habituellement l'eau. Néanmoins, il est aussi possible de comparer la densité à la masse volumique.

4.1.2. Réponses des sujets pour le questionnaire sur la flottaison

De prime abord, il est difficile de tisser des liens entre les réponses de chacune des questions de ce questionnaire. Les élèves ont répondu aux questions une à la fois, sans réellement établir lien entre leurs réponses. Par le fait même, peu de concepts sont réutilisés d'une question à l'autre.

L'air est le concept ou l'unité de sens qui revient le plus souvent dans les trois questions du questionnaire. Pour certains sujets, l'air était l'explication de la flottaison. Elle permettrait de faire « flotter » les objets. Parallèlement, les sujets ont utilisé beaucoup de comparaisons, soit par rapport à un concept, ou entre deux éléments de réponse.

Les concepts de masse volumique et de densité reviennent cependant dans les deux dernières questions, mais de façon voilée. Dans la question 2, comparant le comportement d'un bouchon de liège et d'un sou noir dans l'eau, les sujets ont fait référence à la masse volumique des objets testés par rapport à celle de l'eau. De la même manière, dans la question trois, traitant de la forme, les sujets parlent de la densité ou d'un rapport poids-volume ou poids-surface de l'objet. Sans le savoir, ils utilisaient pratiquement les mêmes explications. Finalement, la forme de l'objet est aussi un élément de réponse, bien que très peu retrouvé dans la question 2, mais beaucoup dans la question trois.

Situation-problème 1 – Ludion

La première question portait sur un ludion, objet servant à faire des démonstrations en classe de sciences, particulièrement en physique. La question était la suivante :

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

Deux dessins accompagnaient la question pour permettre aux élèves de visualiser et de comprendre plus facilement la question. Sur le questionnaire (voir annexe), les dessins étaient plus gros, mais on ne pouvait distinguer l'intérieur des compte-gouttes.

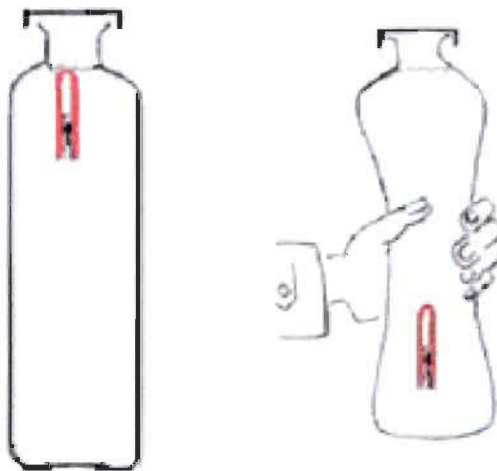


Figure 2 Illustration de la question 1 – Questionnaire sur la flottaison

Explications scientifiques du comportement du ludion

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

Cependant, aucun sujet n'a fait référence au principe même de la flottaison. La majorité des réponses faisaient référence à l'air, mais jamais au poids du compte-goutte.

Pour plusieurs sujets, l'air dans le ludion avait un impact sur sa flottaison par rapport à sa quantité ou par la pression qu'elle exerçait. Au contraire, l'air dans la bouteille pouvait aussi avoir un impact. Par rapport à la quantité, plusieurs ont soutenu qu'il y avait moins d'air ou que l'air perdait sa capacité de « faire flotter ». Dans beaucoup de réponses, les sujets soutiennent que moins d'air est présente dans le ludion, tandis que d'autres soutiennent que l'air se comprime, faisant référence à la compressibilité des fluides.

Par rapport à la quantité d'air :

Il n'y a plus d'air(A3), moins d'air dans la bouteille(A5), élimine l'air(A8), l'air n'a plus d'effet(A10), se vide de son air(A10), air dans le compte-goutte(A14), attiré vers la poche d'air(A16), moins d'air pour le faire flotter(A17), moins d'espace pour l'air(A21)

Par rapport à la pression de l'air :

Pression de l'air (A18), L'air se restreint (A3), l'air se comprime(B2), enlève toute particule d'air(B5), pression de l'air devient plus grande(B14), pression de l'air sur l'eau(B21), l'air est plus léger que l'eau (B30).

Finalement, l'air se déplace dans la bouteille et produit un effet sur le ludion, l'air a donc un impact sur la flottaison même de l'objet pour certains sujets :

Déplacement d'air (A6), l'air descend dans le fond [de la bouteille], l'air va entre les particules d'eau (B6,) l'air monte à la surface(B19)

Deuxièmement, la notion d'espace, de place, expliquerait le comportement du ludion. Le ludion se déplacerait donc vers l'endroit où il a le plus d'espace dans la bouteille:

Endroit plus vaste(A1), moins d'espace (A7), endroit où il a plus d'espace (A23), diminue l'espace (B6), l'espace se rétrécit (A5), il y a plus de place(A9)

Situation-problème 2 - Sou noir et bouchon de liège

La deuxième question sur la flottaison traitait de deux objets différents. La question était :

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

La figure ci-dessous accompagnait la question pour permettre aux sujets de mieux visualiser la situation.

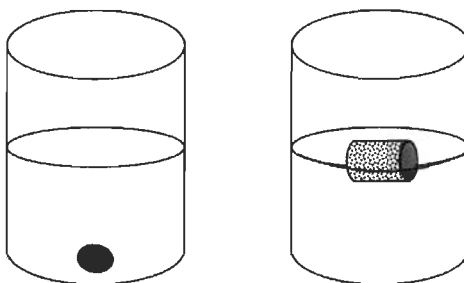


Figure 3 Illustration de la question 2 – Questionnaire sur la flottaison

Explications scientifiques du comportement de chaque objet

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

Contrairement à la première question, les sujets font ici référence au poids de l'objet, mais par comparaison. Ils expliquent la flottaison dépendamment si l'objet est plus lourd ou plus léger que l'eau, ou en comparant le poids respectif des objets. Notons que les sujets utilisent les termes « masse » et « poids » comme des synonymes, sans égard à la définition exacte de ces concepts.

Le bouchon flotte parce qu'il est plus léger que l'eau :

Bouchon plus léger que l'eau, donc il flotte (A1), plus léger que l'eau (A3), lourd →coule (A7), Plus léger (A9), matériau plus léger que l'eau (A21), moins pesant que l'eau (B2), masse plus petite que l'eau (B15)

Le sous noir coule parce qu'il est plus lourd que l'eau :

sou (...) plus lourd que l'eau donc il coule (A1), il coule car il est plus lourd(A2), plus léger que l'eau (A3), léger →flotte (A7), cuivre plus lourd que l'eau (A21), masse plus élevée que l'eau (B15), plus lourd que la masse de l'eau (B24), trop lourd pour flotter (B29)

Comparaison entre les objets

Plus léger que le sou noir(A13), il est plus léger (A18), sou noir plus lourd que le liège (A24), bouchon de liège moins lourd que le sou noir (B5), liège est plus léger (B22)

Une autre tendance se démarque dans les réponses quant à la constitution même d'un bouchon de liège. Pour les élèves, le bouchon de liège comporte de petits trous et les considèrent remplis d'air, ces derniers faisant flotter le bouchon. Aussi, les trous remplis d'air seraient responsables de la faible masse volumique du bouchon. Ces trous causeraient la légèreté du bouchon ou permettraient à l'air d'y passer.

Parallèlement, ils expliquent que le sou noir coule car aucun air ne passe à l'intérieur, qu'il n'en contient pas ou qu'il n'a pas de caractéristiques pour flotter.

Conséquence de la présence de l'air :

Plus léger et il y a de l'air à l'intérieur à cause des trous (A9), il y a beaucoup d'air à l'intérieur (A12), bouchon de liège a plein de trous (...) l'air contenu le fait flotter (A17), plus léger – fait d'une matière avec des trous (A18), liège est rempli d'air (A19), a des petits trous alors il y a de l'air qui passe dedans (A25), petits trous remplis d'air doit l'aider à flotter (B3), il y a de l'air qui passe dans le bouchon (B5), contient de l'air (B7), il renferme plus de particules d'air (B13), pleins de petits trous plein d'air (B21)

Beaucoup d'élèves ont fait référence à la masse volumique des objets. En comparant la masse volumique à celle de l'eau, ils pouvaient statuer sur la flottaison ou non du corps. Bien que leur explication soit strictement qualitative, elle rejoint presque la « théorie scientifique » de la flottaison, du fait qu'elle peut aussi s'expliquer par les densités des corps et des fluides en présence.

La masse volumique de sou noir est plus grande que celle de l'eau, la masse volumique du bouchon est moins grande que celle de l'eau (A4) ; masse volumique est plus élevée que celle de l'eau, celle du bouchon de liège est moins élevée (A11).

Sans retranscrire les mêmes réponses, près de la moitié des sujets ont utilisé le concept de masse volumique dans leur réponse. Dans pratiquement tous ces cas, les élèves comparaient la masse volumique de chaque objet par rapport à celle de l'eau.

La densité des objets explique la flottaison :

Il (bouchon) flotte à cause de sa faible densité (A9), le sou noir coule au fond car il est « plein » et lourd comparativement à sa petite taille. Je crois que la flottaison d'un objet est créée en fonction de son poids par rapport à son volume.

Plus grande surface pour étendre son poids (A19), poids du bouchon de liège réparti sur une plus grande surface (A8), poids du bouchon de liège est petit comparé à sa taille (A10), c'est un rapport masse/volume (A20)

Situation-problème 3 – Forme du papier d'aluminium

La question trois traitait de l'impact de la forme d'un objet sur sa flottaison. La question se lisait comme suit :

« Comment expliques-tu que dépendamment de sa forme, du papier d'aluminium peut flotter ou couler au fond d'un b cher? ».

Pour ne pas provoquer de réponses ou donner trop d'indications, aucune figure n'accompagnait la question.

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

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

Trois concepts ont été majoritairement utilisés par les élèves pour répondre à cette dernière question. Premièrement, le rapport entre la masse (ou le poids) et la surface. Les élèves ont parlé du rapport entre la masse et le volume de l'objet. Ils expliquent aussi que si la masse prend moins de « place », donc qu'elle est moins répartie sur une grande surface, le corps a tendance à caler au fond. On peut aussi relier cette explication au concept de masse volumique employé à la question deux. Notons que quelques élèves ont aussi utilisé le terme masse volumique pour répondre à la question 3.

Comparaison poids – surface :

Poids est plus concentré dans un plus petit volume (A3), plus la surface est grande plus le poids est réparti (B10), masse concentrée au même endroit (A23), masse répartie également partout (A23), plus de place pour même poids (A10), poids mieux réparti (A19), poids plus concentré, plus le papier prends de la place (A11), poids plus répandu (A3), poids concentré à la même place (A8), même poids sur une plus grande surface (A8), répartition du poids (A16), faire prendre le plus d'espace (A20), étaler la masse sur le plus de distance possible (A20). S'il ont le même poids, plus son volume est gros plus il a de chance de flotter (A4), poids réparti sur une plus moins grande surface (A8), matière moins pesante par mm^2 (B2), même poids réparti sur un plus petit volume (B6), la surface est plus grande donc le poids est répandu sur une plus grande surface (B27)

Parallèlement au rapport masse-surface, beaucoup ont décrit la forme comme une cause de la flottaison, un peu avec les mêmes considérations. Soit ils reliaient la forme du papier à son rapport masse-volume, soit ils n'expliquaient que l'influence de la forme :

Coque (ou principe) d'un bateau (A6,A7), forme change, en boule (A1, A3,A6,A7), dépendamment de sa forme (A6, A22), aplatis, forme peut influencer (A9), en sphère il coule (A14), compacté il flotte, aplatis (B16), épais-gros (B15), mince-petit (B15), en feuille (A1, A3), malgré sa forme (A2), déplié (A10), lingot (B4).

Finalement, l'air peut aussi faciliter la flottaison selon les sujets. Une mince couche d'air est sous l'objet et le retient à la surface, ou l'air est à l'intérieur du papier.

Si il y a plus d'air (dans le papier d'aluminium) (A5), il y a de l'air (A9), aussi de l'air ce qui va l'aider à flotter (B1), il restera des espaces d'air (B4), plus il y a d'air plus il flotte (B24), moins de place pour contenir de l'air (B26).

Au contraire, l'absence d'air nuirait quant à elle à la flottaison du papier d'aluminium. On peut aussi noter qu'un seul élève a décrit avec précision le principe scientifique de la flottaison : « *Pour flotter, un objet doit déplacer une masse (eau) proportionnelle à son poids (B11)* ».

Même si peu de sujets ont pu expliquer à l'aide de termes scientifiques la flottaison, les réponses démontrent néanmoins une certaine compréhension globale du phénomène de la flottaison. Bien que l'air n'ait que peu ou même pas d'impact sur la flottaison, dans le cas du bouchon de liège, elle ne fait pas flotter, mais sa présence dans l'objet réduit considérablement son poids par rapport à son volume. De ce fait, les élèves n'ont pas totalement tort, et leur raisonnement les mène sur une piste intéressante. Ensuite, plusieurs sujets ont utilisé à maintes reprises les concepts de masse volumique ou de comparaison de poids ou les comparaisons de poids et surface. Aussi, l'utilisation répétée du concept de forme porte à croire que leurs raisonnements est d'une certaine qualité, et que les sujets ont pu soulever de véritables relations en lien avec la flottaison, même s'ils n'avaient jamais étudié le concept. Ceci démontre probablement la réutilisation du concept de masse volumique largement étudié au secondaire.

4.2. Analyse – Questionnaire sur la lumière

La propagation de la lumière est le concept majeur soumis aux élèves dans ce questionnaire. Le questionnaire sur la lumière abordait six mises en situation différentes, certaines étant subdivisées en deux sous-questions. Cinq questions sur six traitaient de la propagation rectiligne de la lumière, la dernière traitant de la couleur. Pour certaines de ces questions, les élèves pouvaient tracer les rayons ou dessiner le comportement attendu de la lumière dans le questionnaire.

4.2.1. Explications scientifiques des phénomènes lumineux

La lumière est une onde électromagnétique et, en milieu isotrope, elle se propage en ligne droite. Elle ne contourne pas les objets opaques. Cette caractéristique crée la majorité des phénomènes lumineux : l'ombre et la pénombre, la taille d'un champ de vision dans un miroir, les phases de la Lune. L'angle de la lumière par rapport à l'obstacle, la taille de l'ombre et de la pénombre changera, tout comme la quantité de lumière.

La lumière blanche est composée de différentes longueurs d'onde. Les différentes longueurs d'ondes correspondent à différentes couleurs pouvant être perçues par l'œil humain. Les couleurs perçues par l'œil humain le sont par principe d'addition ou de soustraction des longueurs d'onde.

Les élèves ayant participé à cette recherche n'avaient pas étudié les phénomènes lumineux, ces concepts étant traités seulement en cinquième secondaire. Cependant, lors de l'étude de l'atome, certains avaient déjà effleuré le concept de la lumière blanche composé de plusieurs longueurs d'onde.

Bien que cinq questions sur six traitent du même concept, pour seulement trois questions les sujets ont produit des réponses semblables. Pour les questions un, deux

et trois (lampadaire, ombre chinoise, paravents), nombre de sujets font référence à la notion d'obstacle, de distance entre la source lumineuse et l'objet (l'obstacle) ou l'angle des rayons. Certains réutilisent le concept de triangles semblables appris en mathématiques. Les questions du lampadaire et de l'ombre chinoise permettaient quant à elles de dénombrer les réponses et de les grouper, ce qui s'avéra impossible dans les autres questions vu la faible quantité de réponses. Soulignons aussi que beaucoup d'élèves ont décrit d'autres comportements de la lumière, comme les phénomènes de dispersion et qu'une source éclaire dans toutes les directions.

Situation-problème 1

« Le soir, Isabelle est debout devant un lampadaire. Si elle s'éloigne du lampadaire, son ombre deviendra-t-elle plus longue ou plus courte? Pourquoi? »

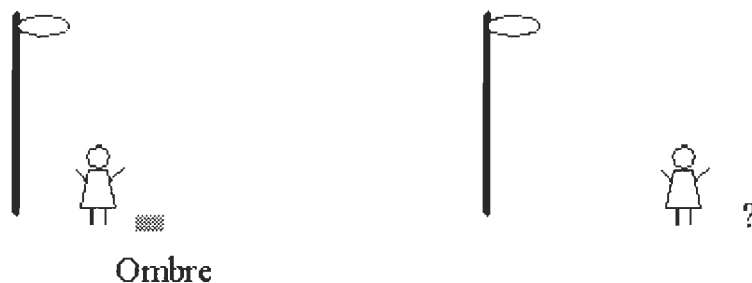


Figure 4 Illustration de la question 1 – Questionnaire sur la lumière

Quarante-quatre (44) sujets ont répondu que l'ombre sera plus longue, tandis que onze(11) ont répondu qu'elle sera plus courte. Deux concepts furent plus largement utilisés, soit les notions d'obstacle et celui de l'angle de la lumière.

Pour les sujets, la quantité de lumière bloquée par le corps d'Isabelle est la cause de l'ombre. Le corps est l'obstacle et puisque la lumière ne peut pas passer, cette lumière ne peut pas éclairer le sol, d'où l'ombre.

Corps cache une plus grande partie (B1), son corps cache la lumière et l'empêche de passer (B2), objet opaque empêche la lumière(B3), bloque plus de rayons de lumière (B11), lumière frappera moins directement et plus sur tout le corps (B13), moins de rayons atteignent le sol (B19), faisceaux lumineux bloqués par le corps (B17), cachera une partie de la lumière (B23), corps bloque la lumière du lampadaire (B30)

Le concept d'angle fut aussi grandement utilisé par les élèves pour expliquer la taille de l'ombre. Ils ont fait référence à l'angle des rayons lumineux vers l'objet ou à l'angle entre la source lumineuse et l'objet, mais en général les sujets ont dit que cet angle serait plus grand. Dans les deux cas, les sujets exprimaient sensiblement le même concept :

Plus l'angle entre la source de lumière, l'objet et le sol est grand (B3), lumière éclaire avec un certain angle (B5), angle formé devient plus grand (B6), l'angle de la lumière étirera l'ombre (B18), lumière parcourt une plus grande distance à un plus grand angle (B20), l'angle de l'image 2 est plus grand (B27), l'angle entre la personne et le lampadaire est plus grande (sic)(A1), l'angle (...) est plus grand (A10), plus elle s'éloigne plus l'angle par rapport à elle et la lumière grossit (sic) (A13), l'angle d'inclinaison (A14), l'angle dans laquelle (sic) les rayons éclairent est supérieur (A16), l'angle de la lumière sera beaucoup plus prononcé (A18)

Sans faire référence directement au comportement de la lumière, trois élèves ont utilisé un concept de mathématique, les lois des triangles semblables, pour répondre à la question.

Question de mathématique (triangles). (...) l'hypoténuse et la cathète rallongent et le triangle étant proportionnel, l'autre cathète rallonge de même. (A3)

(Triangle rectangle) Plus on agrandie (sic) la base, plus l'hypoténuse est grande. (A20)

Comme dans un triangle rectangle, si l'angle est plus grand, le côté opposé sera plus grand. (A22)

Le schéma suivant, réalisé par le sujet A20, montre la comparaison entre deux triangles semblables.

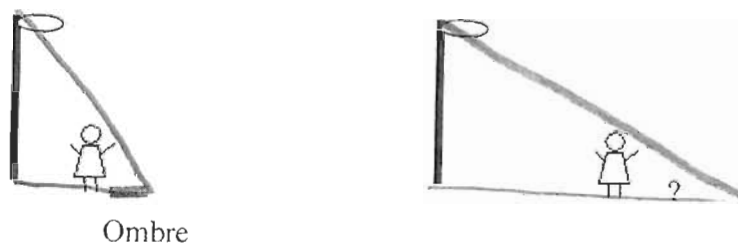


Figure 5 Schéma du sujet A20 pour expliquer la taille de l'ombre dans la mise en situation 1

Situation-problème 2

Cette deuxième mise en situation ressemblait beaucoup à la première quant aux concepts traités : la propagation de la lumière et la production d'ombre et de pénombre. La mise en situation était celle d'un spectacle d'ombre chinoise :

« Une fillette fait un spectacle d'ombre chinoise. Elle est placée entre une lampe et une toile. Les spectateurs sont placés de l'autre côté de la toile. Elle utilise un dragon en papier pour former une ombre. Si elle approche le dragon en papier de l'écran, l'ombre sera-t-elle plus grosse, de même grandeur ou plus petite que l'ombre initiale? Pourquoi? »

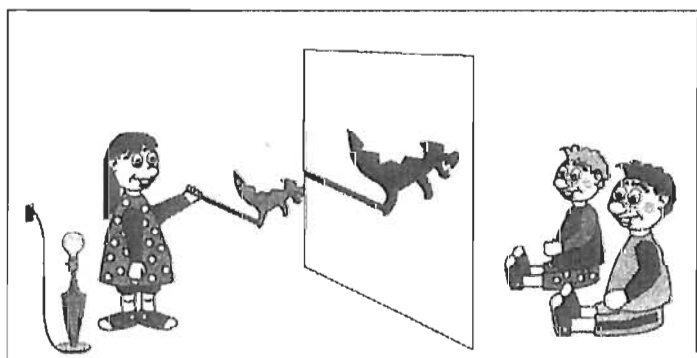


Figure 6 Illustration de la question 2 – Questionnaire sur la lumière. Tirée de Métioui et al., 2002.

Pour cette situation-problème, les élèves ont utilisé des concepts très semblables, et les réponses se recourent largement pour cette question. Premièrement la distance entre la toile, l'obstacle (le dragon) et la source lumineuse est une des causes du changement de l'ombre elle-même. Fait à noter, beaucoup ont utilisé des comparaisons pour cette questions, en expliquant ce qui serait arrivé si la fillette avait éloigné le dragon de la toile.

Pour plusieurs sujets ce fut la distance entre la toile et le dragon :

distance entre dragon et toile change aussi quelque chose (B3), plus elle est proche moins elle empêche la lumière de passer (B4), plus on approche dragon de l'écran plus il est loin de la lumière (B6), distance entre objet et son point d'ombre lumière a plus courte distance entre dragon et toile (B16), dragon est plus près de la toile (B21), coller sur l'écran (B24), plus le dragon s'approche de la toile (B29), écart entre dragon et toile est plus petit, fillette collerait son dragon sur la toile (B1), éloigne le dragon de l'écran (B7), dragon se rapproche de l'écran (B17), écart entre le dragon et la toile (A1), approchant le dragon sur le papier de l'écran(A4), plus loin de l'écran (A8)

ou la distance entre le dragon et la lumière.

plus le dessin est loin de la lumière (B22), plus le dragon est près de lumière (B25), plus l'image est proche de la source de lumière (B8), éloigne le dragon de la source de lumière (B10), lumière est plus loin du dragon (B15), rapproche le dragon de la lampe (B16), plus le dragon est loin de la lampe (B19), en se rapprochant de la source de lumière (B31), dragon proche de la lumière (A7), plus proche de la lumière (A8), lumière est plus loin (A12)

Dans ces deux cas, l'effet est directement relié à la taille de l'ombre projetée sur la toile. Les deux catégories de réponses précédentes se ressemblent parce que si on rapproche le dragon de la lumière, il s'éloigne de la toile. Ensuite, la lumière elle-même serait l'explication du changement dans la taille de l'ombre. Ils décrivent aussi le comportement d'une source lumineuse diffuse, qui envoie ses rayons dans toutes les directions ou d'un faisceau lumineux qui s'agrandit comme un cône.

Lumière «s'agrandie» : grossie de plus vers la toile (B5), faisceau lumineux comme un cône – plus tu t'éloignes plus l'ouverture est grande (B9), rayons

qui l'on heurtée plus tard auront le temps de s'agrandir, lumière doit aller autour et prendre un angle plus large (B18), plus de lumière autour (B22), lumière part de la source en petit et s'agrandie (B31), lumière peut ou non se disperser (A2), lampe projette la lumière autour d'elle (B3)

La notion d'obstacle est aussi utilisée, comme pour la première mise en situation. Les élèves décrivent le dragon comme un obstacle au passage de la lumière, obstacle qui la bloque plus ou moins dépendamment de sa position.

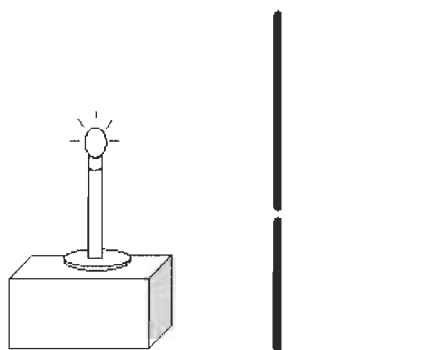
dragon cache plus de rayons lumineux (B11), ne laissera pratiquement plus passer la lumière (B13), dinosaure bloque faisceaux de lumière (plus proche, moins il bloqueras- plus proche, plus il bloqueras) (B17), proche cachera plus de lumière(B19), dragon cache moins de lumière (B20, B26), empêchera lumière de passer, moins il bloquera la lumière (B25), quantité de lumière cachée sera moindre(...)sera grande (B27), dragon bloque moins de lumière (B28), laisse moins rayons lumineux passer (B31), beaucoup de lumière sera bloqué (A5)

Situation-problème 3

La question 3 portait sur la propagation de la lumière.

« Les schémas suivants représentent une lampe allumée, un ou deux paravents troués et un mur. Pour chacun des schémas, définissez par un ou des traits quelle zone sera éclairée par la lumière de la lampe sur le mur. Justifiez votre dessin par des explications. »

Situation A



Situation B

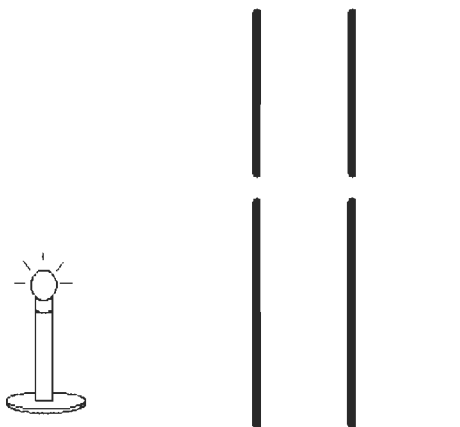


Figure 7 Illustrations de la question 3 – Questionnaire sur la lumière

La question 3 avait deux parties, une première où la lumière ne traversait qu'un paravent et une deuxième dans laquelle la lumière traversait deux paravents.

Dans la première partie, la lumière pouvait atteindre le mur, mais dans la deuxième, la position des trous faisait en sorte que la lumière ne pouvait atteindre le mur. Le concept traité dans cette question est la propagation rectiligne de la lumière. La majorité des réponses comportent les mêmes concepts, soit le *comportement de la lumière*, le *passage de la lumière dans les trous des paravents* ou la *quantité de lumière*, mais cette dernière catégorie dans une moindre mesure.

Par rapport au comportement de la lumière, quelques élèves expliquent que les rayons se déplacent en ligne droite. Ce concept devient la base de leurs explications.

Lumière va en lignes droites (B13), lumière part en ligne droite (B6) lumière qui voyage en ligne droite (B12), les rayons lumineux se dirigent en ligne droite (B1), lumière continue son chemin en ligne droite (A23).

D'une autre façon, les élèves tentent de trouver une façon d'expliquer que la lumière parviendra jusqu'au deuxième paravent, même si ce n'est pas le cas. Les élèves tentent souvent de donner une réponse positive à une question et d'éliminer les effets négatifs. Ils utilisent donc des bases empiriques plutôt que de véritables habiletés de logique (Zimmerman (2007), soulignant le concept de « satisficing » de Simon (1957)).

Afin de prouver que la lumière ira jusqu'au mur, ils expliquent plusieurs comportements de la lumière :

Rayons diagonales (B23), lumière part d'un milieu et se répand comme un cercle (B17), lumière éclaire au-delà des limites que forment un objet, lumière orienté vers le trou (B6), lumière entre (...) puis se disperse ensuite

(B9), lumière se propage partout (B8), lumière ne peut pas dévier de sa trajectoire (B13).

Parallèlement, certains soulignent que la lumière se reflète, fait un ricochet ou frappe le paravent pour parvenir au mur.

Sans expliquer que la lumière se propage en ligne droite, certains montrent l'importance de l'angle de la lumière par rapport au(x) trou(s) du paravent pour confirmer ou infirmer leur réponse. Ils expliquent que les rayons doivent être rectilignes pour que cela concorde avec l'explication.

À cause de l'angle formé (B4), à cause de l'angle formé par la lampe et le trou du premier paravent (B4), lampe stable et trou plus bas (B5), selon l'angle que la lumière prend (B6), l'Angle de la lumière et les trous (B7), le globe est plus haut que le trou (B15), trous plus bas que la lampe (B17).

Dans une autre catégorie de réponse, la lumière ne peut passer à cause des obstacles sur son chemin, ou encore passe par les trous des paravents :

Lumière passe par les trous, le trou est le seul endroit où la lumière peut passer (B10), lumière passe pas au travers des choses opactes (sic), lumière bloquée par deuxième paravent (B12), rayons pas capables d'atteindre le mur (B16)

Les schémas suivants présentent des réponses précisant que la lumière ne peut changer de direction, qu'elle se déplace en ligne droite.

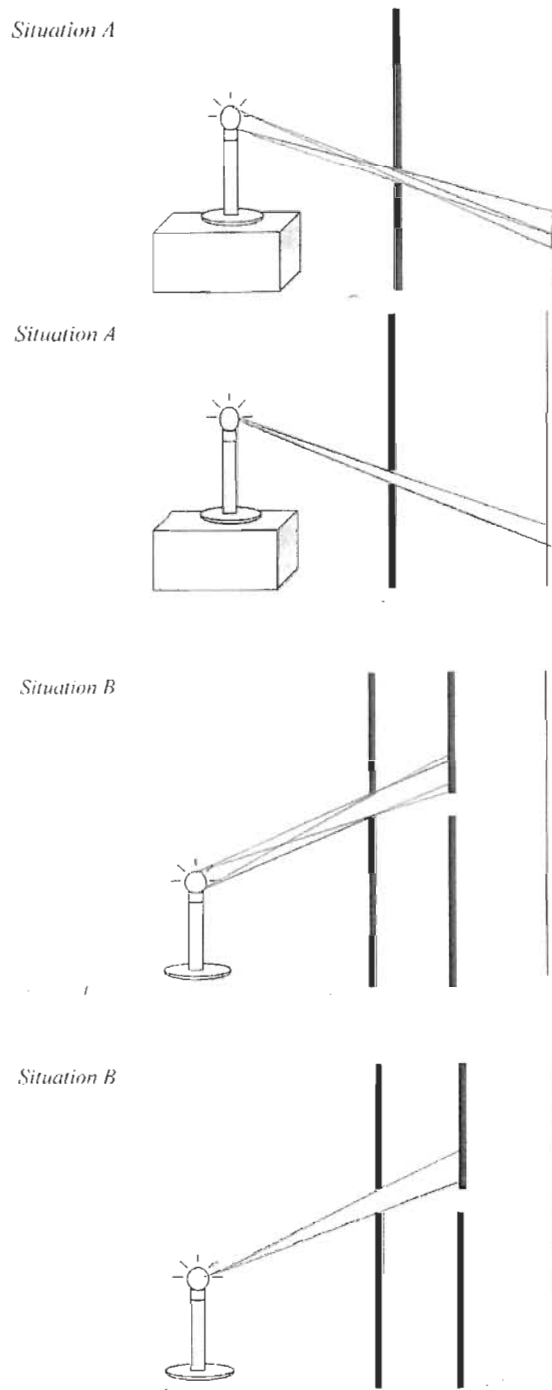


Figure 8 Schémas des sujets B4 et B13 pour montrer la portion éclairée dans la question 3 du questionnaire sur la lumière

Situation-problème 4

La mise en situation 4 traitait du phénomène de la couleur. Deux questions en lien avec le schéma étaient posées. Les couleurs visibles par l'œil humain viennent de la lumière blanche. La lumière est une onde électromagnétique mais une faible partie de la lumière est visible pour l'humain. La lumière blanche est composée de longueurs d'ondes, ces longueurs d'ondes permettant de voir différentes couleurs. À l'aide d'un prisme, il est possible de décomposer la lumière, comme avec le phénomène de l'arc-en-ciel. Le cas échéant, ce sont les gouttes de pluie qui font office de prisme. C'est le phénomène de la dispersion. Dans le cas d'un filtre, ce phénomène est appelé production de couleur par soustraction ou absorption soustractive. Quand on combine plusieurs filtres colorés, diverses parties de la lumière blanche sont absorbées, selon les filtres utilisés. Par exemple, un filtre rouge laissera passer seulement la longueur d'onde rouge et absorbera toutes les autres longueurs d'onde. Pour « produire » la « couleur » noire comme dans la question A, on superpose des filtres. Toutes les longueurs d'onde étant absorbées, c'est le noir qu'on distingue, le noir étant l'absence de couleur. Le schéma ci-dessous illustre le phénomène de la lumière sur laquelle on applique différents filtres colorés.

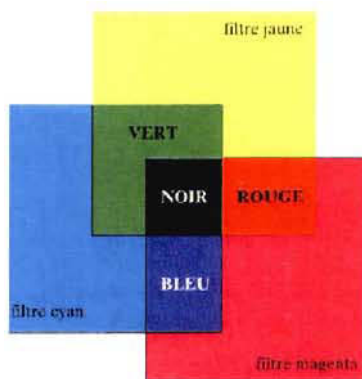


Figure 9 Illustration de la question 4 – Questionnaire sur la lumière

Les questions étaient :

« Comment expliquez-vous le fait que plusieurs filtres superposés produisent la couleur noire? »

« Comment expliquer le fait que la lumière blanche, sous un ou deux filtres, puisse prendre des couleurs différentes? Justifiez vos réponses par *des explications*. »

Dans les deux cas, les réponses des sujets sont très semblables. Les élèves expliquent que les couleurs des filtres se mélangent comme pour de la peinture ou appliquent le concept de la lumière blanche composée de plusieurs longueurs d'onde. Sinon, ils expliquent le comportement de la lumière en soulignant que plusieurs filtres superposés deviennent trop opaques pour laisser passer la lumière. Ils renvoient donc à la notion d'obstacle comme pour les questions précédentes.

Cependant, les réponses sont plus étayées pour la question B que pour la A; les élèves utilisant davantage le concept de lumière blanche pour expliquer la couleur que pour expliquer le noir de la question A. Les termes exacts ne sont pas toujours utilisés, mais les explications « globales » font référence à la composition de la lumière blanche et à la production de couleur par soustraction.

En outre, les réponses de la question A et B sont fréquemment différentes l'une de l'autre, les réponses ayant très peu de liens. À la question A un élève peut traiter du mélange des couleurs, tandis qu'à la B, le même expliquera clairement que la lumière blanche est composée des couleurs de l'arc-en-ciel.

Question A

Pour répondre à cette question certains élèves comparent la lumière à de la peinture : plus on mélange de couleurs, plus le mélange devient foncé jusqu'à l'obtention du noir. De la même manière, ils expliquent la couleur noir par un mélange de couleurs.

Mélange des trois couleurs primaires donne le noir (B1), noir est formé de toutes les couleurs (B6) plusieurs couleurs foncés par-dessus forme une couleur noir (B7) les couleurs primaires sont superposées, le résultat sera donc noir (B8) quand tu superpose plusieurs couleurs qui donne toujours plus foncé sa donne noir(sic) (B15) toutes les couleurs ensemble donne brun foncé et avec la lumière, ça donne un effet noir (B20) tellement de filtre qu'il ne laisse même pu passer la lumière (A5) la superposition des trois couleurs primaires donne naissance au noir (A13) comme avec la peinture, plus tu en mélange ensemble plus ça prend une teinte foncé (A17) la couleur réagit avec la lumière comme avec la peinture (A22)

Les filtres eux-mêmes sont la cause de la couleur noire; en les superposant, l'épaisseur totale augmente et ils deviennent opaques :

L'épaisseur du papier est trop importante pour laisser passer la lumière (B2), l'intensité de la lumière diminue (...) alors qu'à trois filtres la lumière ne passe tout simplement plus (B3) La couleur noire produite est une ombre, car toutes les particules de couleurs empêchent la lumière de passer (B4), les filtres tous ensemble deviennent plus opaques et laissent moins passer la lumière (B13), la lumière ne peut plus passer, il y a trop d'épaisseur (B19) trop épais de couleurs pour que la lumière passe au travers donc sa devient comme une ombre chinoise (B24)

ou les filtres absorbent la lumière et elle devient noire :

plus il y a de filtres superposés plus que la couleur va être foncé. Jusque la couleur soit noire (B5) toutes les couleurs foncées sont absorbées et forme ainsi du noir (B10), plus tu ajoutes de filtres, plus la couleur s'assombrit. A force d'en mettre, ça devient forcément plus noir.

Certains sujets traitent de la composition de la lumière blanche ou expliquent la soustraction des couleurs jusqu'à l'obtention du noir.

La lumière n'est pas blanche mais multicolore (...) ne pouvant prendre aucune couleur précise le filtre devient noir (B16) la lumière est constituée de toutes les couleurs(...), filtres superposés de façon à obtenir toutes les couleurs, la lumière ne peut pas nous réfléchir de couleur. Et en absence de couleur, les filtres deviennent noirs (B23) lumière est un mélange de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. Quand les filtres se superposent, plus aucune couleur ne passe, ainsi le noir survient. (B25)

Pour la sous-question B, les catégories de réponses sont très semblables. La majorité à répondu dans le même sens, en traitant de la composition de la lumière blanche. Cependant, bien que beaucoup de sujets aient répondu que la lumière blanche prenait la couleur du ou des filtres en présence, il est à noter que le terme « lumière blanche » était utilisé dans l'énoncé même de la question. Il est donc possible que certains élèves l'aient utilisé à cause de sa mention, et même que certains aient basé leur explication sur son appellation de lumière «blanche».

Question B

La majorité des réponses de la question A concernent la composition de la lumière blanche par plusieurs couleurs. Sans tout expliquer, plusieurs ont exposé le principe de soustraction des couleurs par absorption.

La lumière blanche est composée des autres couleurs :

Même principe que les projecteurs. Si on met du rouge devant une lumière blanche, celle-ci deviendra rouge (B1) lumière est composé de tout les couleurs de l'arc-en-ciel. Un filtre empêche tout les couleurs de passer excepté la couleur de celui-ci (sic) (B11), la lumière blanche contient toutes les autres couleurs. (...) sous un filtre, et selon le filtre, la couleur change. (B12) La lumière blanche est formée de toutes les couleurs. En mettant un filtre bleu, seulement la partie bleu de la lumière peut passer et toutes les autres sont repoussée (B13), la lumière blanche est composée de toutes les couleurs (B30,) la lumière qui passe à travers du filtre est constituée des 7 couleurs de l'arc-en-ciel, donc les 6 autres se font absorber et la couleur du filtre passe (A5), la lumière est formée de couleur en partant (A17), parce que comme ça on peut séparer le prisme des couleurs (A18), lumière est un mélange de toutes les couleurs et les filtres laissent passer que les couleurs désirées (A23)

De façon similaire, mais sans faire référence à la composition de la lumière, d'autres ont expliqué que la lumière prenait la couleur des filtres:

Leur composition font changer la quantité et l'intensité de la lumière ce qui change la couleur perçu par nos yeux (B3) lorsque la lumière blanche est sous un filtre, elle prend sa couleur (B4) sous ou (sic) deux filtres, la lumière va prendre la couleur du filtre (B6) , la lumière passe à travers les filtres et

prends sa couleur (B6) la lumière est transparente alors dépendamment quelle couleur sera le filtre elle prendra cette couleur (sic) (B14), la lumière blanche devient la couleur qu'elle traverse (B20,) la lumière blanche est transparente alors sous les filtres, elle prend leurs couleurs (B22), cela dépend de la couleur des filtres (A15)

Plusieurs autres sujets ont réutilisé le concept expliqué à la question A, le mélange des couleurs des filtres comme avec de la peinture.

Quelques couleurs mise (sic) ensemble donne une autre couleur (B2) les couleurs se mélangent pour former de nouvelles couleurs (B10) Plus il y a de couleur et d'épaisseur plus le résultat sera foncé (B15) mélange de couleurs donne une autre couleur (B16, si l'on superpose les couleurs, c'est comme si on les mélangeait (A8), la superposition de deux couleurs primaires donne naissance à une nouvelle couleur comme le vert (A13), jaune plus bleu donne vert (A15)

Un des sujets a littéralement réutilisé les expressions déjà apprises en classe: « La lumière pénètre le filtre et les électrons de ceux-ci réagissent avec la chaleur, ils s'excitent (sic) et produisent de la couleur » (B26); en référence aux explications de début d'année sur l'excitation des électrons libre de l'atome d'hydrogène. (En passant d'un niveau d'énergie à un autre, l'électron de l'atome émet de la lumière de différentes couleurs dépendamment des niveaux d'énergie.)

Situation-problème 5

Cette mise en situation s'intéressait à la forme visible de la Lune dans le ciel le soir. Dépendamment de la position de la Terre par rapport à la Lune et au Soleil, un observateur sur Terre ne voit pas toujours la Lune de la même façon. Les phases de la Lune correspondent à ses portions illuminées par le Soleil qui sont visibles de la Terre. La Lune tournant en orbite autour de la Terre, ces portions ne cessent de changer en fonction de la position de la Lune. Aussi, il est nécessaire de connaître la position (géographique) de l'observateur sur la Terre.

« Si vous voyez ce croissant de lune le soir dans le ciel, où pourriez-vous situer le Soleil, la Terre et la Lune sur un schéma? Réaliser un schéma pour expliquer la position du Soleil, de la Terre et de la Lune, ainsi que votre position d'observateur sur la Terre. Justifiez votre dessin par des explications. »



Figure 10 Illustration de la question 5 - Questionnaire sur la lumière

En théorie, la forme de la lune perçue par un observateur sur Terre dépend directement de la position de la Terre, de la Lune et du Soleil, l'un par rapport à l'autre. Ce phénomène est dû à la propagation rectiligne de la lumière (voir explications ci-haut), et au phénomène d'ombre et de pénombre.

La Lune est donc éclairée par le Soleil, et dépendamment de la position de la Lune, elle Lune sera aperçue différemment par un observateur sur la Terre.

Les élèves devaient aussi fournir un dessin afin de justifier ou préciser leurs explications. Pour beaucoup, il est évident que le Soleil éclaire la Lune. Cependant, peu de sujets pouvaient expliquer le positionnement de l'observateur sur Terre. Dans les réponses écrites, les sujets ont mentionné les différences pour l'observation de la Lune par rapport au jour et à la nuit, soulignant qu'il est plus facile de voir la Lune le soir, ou que l'observateur sur Terre est là où il fait nuit. Les réponses sont diversifiées, les sujets ayant utilisé une seule ou plusieurs unités de sens pour répondre. De ce fait, les réponses sont plus partagées.

Sans proposer d'explications, certains sujets ont simplement décrit la position du Soleil par rapport à la Terre ou à Lune, sans faire référence à la lumière du Soleil :

La moitié de la lune qui est devant le soleil est de côté (B3), le soleil, qui est à gauche de la lune, mais un peu plus loin de la Terre que la lune (B5) le soleil est de l'autre côté de la Terre, dépendamment de l'angle de la Terre par rapport au soleil et à la lune (B4) le soleil est de l'autre côté de la Terre (B12) dépendamment de où est placée la lune (B15), la lune est de moitié derrière la terre (B23) , la lune est à ce moment derrière la terre (B31), le soleil est supposé être en arrière de la lune (A15)

Le schéma suivant montre la position relative du Soleil, de la Terre et de la Lune.

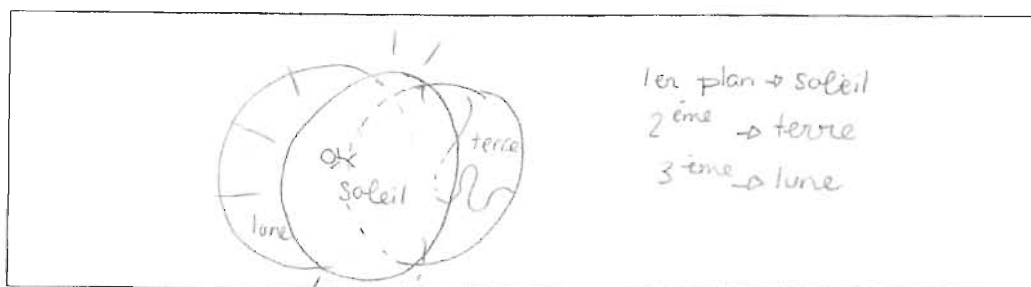


Figure 11 Schéma du sujet B23 pour expliquer les positions relatives du Soleil, de la Terre et de la Lune

Une majorité a expliqué que la Terre fait ombrage à Lune, ce pourquoi on ne la voit pas entièrement :

les objets cachés par la Terre (la lune dans ce cas-ci) ne sont pas visible car il ne provient pas de lumière (...) une partie de la lune était cachée et l'autre était visible (B3), la partie ombragée de la lune est l'ombre de la terre (B6), la terre cache une partie de la lune que le soleil ne peut éclairer (B8), la terre qui ait de l'ombre à la lune (B10), la moitié de la lune est cachée derrière la Terre. Donc (...) la terre fait une ombre (B13), lumière que projette le soleil est caché par la terre (B21,) une partie de la lune est caché du soleil par l'ombre de la terre (B24), la terre ne cache qu'une partie de la lumière produite par le soleil (B27), la partie sombre est celle non-éclairé (B28), on voit l'ombre de la Terre sur la lune (B29), la terre cache une partie de la lune de la lumière du soleil. La terre (...) bloque la lumière du soleil de passer alors cela crée de l'ombre sur la partie de la lune (B30) la terre cache la plupart de rayons du soleil (A10), la terre empêche les rayons du soleil d'éclairer une partie de la lune en leur faisant obstruction (A16), la terre

obstrue le passage à la plupart des rayons du soleil (A22), la terre qui la cache (la lune) (A24)

Comme les explications précédentes, les schémas suivants montrent la position de la Terre entre la Lune et le Soleil, pour faire ombrage à la lumière.

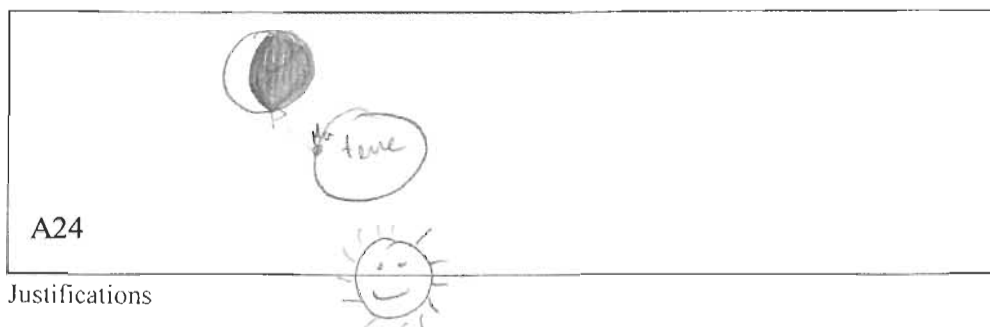
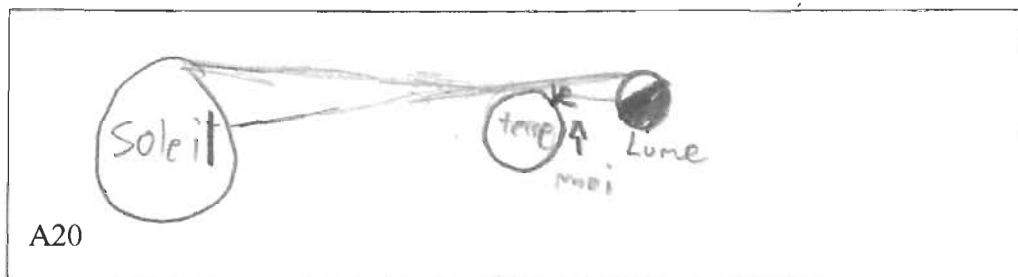
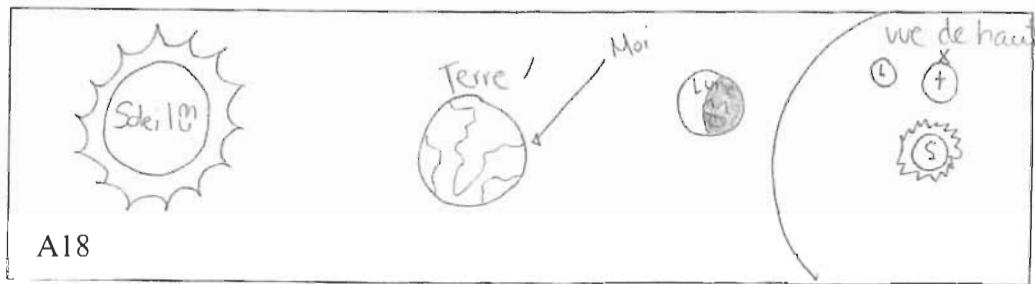
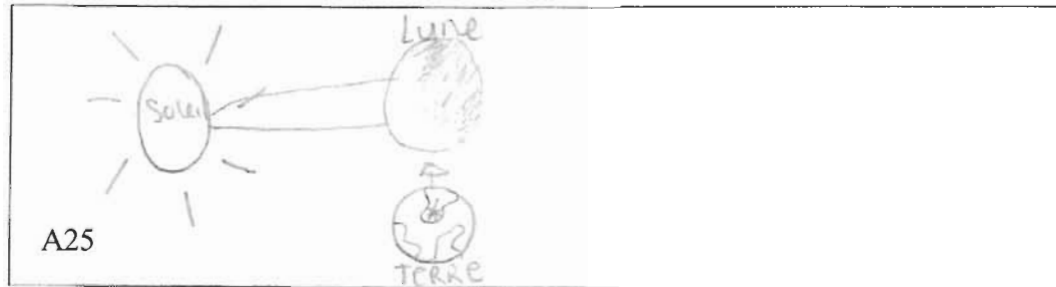


Figure 12 Schémas des sujets A18, A20 et A24 montrant la Terre faisant ombrage à la lumière du Soleil

Ensuite, les sujets font uniquement référence à la source lumineuse, le Soleil, ou à la lumière comme cause principale de la forme du croissant de la Lune. Ils expliquent qu'une partie est éclairée ou, à l'inverse, que la partie absente n'est pas éclairée.

La seule manière de voir une autre planète c'est qu'elle soit éclairée (B3), Le côté gauche de la lune est éclairé par le soleil (B5), Le soleil éclaire la lune (...) d'où l'ombre (B1), le soleil éclaire une face de la lune, donc un côté éclairé et un ombragé (B4), lumière continue et arrive sur la lune, et l'éclaire en partie (B6), nous voyons le côté que la terre illumine (B9), la partie blanche de la lune n'est que le reflet du soleil (B11), (...) grâce aux rayons du soleil qui l'éclaire (B12), on voit juste le côté éclairé (B14), la partie de la lune qu'on ne voit pas, c'est parce qu'elle n'est pas éclairé par le soleil (B15), la partie voyante de la lune, c'est grâce au soleil qui reflète ses rayons sur une partie de la lune (B17), une seule moitié de la lune est touchée par le soleil (B19), lumière que projette le soleil (B21) le soleil n'éclaire qu'une partie de la lune (B22) elle ne reçoit qu'une partie des rayons solaire (B23), le soleil éclaire que une partie de la lune (celle en blanc) (B25), le soleil éclaire une partie seulement de la lune (B26), pour voir la lune, il faut que le soleil l'éclaire (B31), partie illuminée de la lune est causé par les rayons du soleil (A3)

L'interférence de la Terre n'a pas d'impact sur la forme de la Lune, selon les dessins des sujets ci-dessous. Comme les réponses précédentes, seule l'illumination de la Lune par le Soleil est en cause. On peut aussi remarquer la position de la Terre et de l'observateur.



Schéma

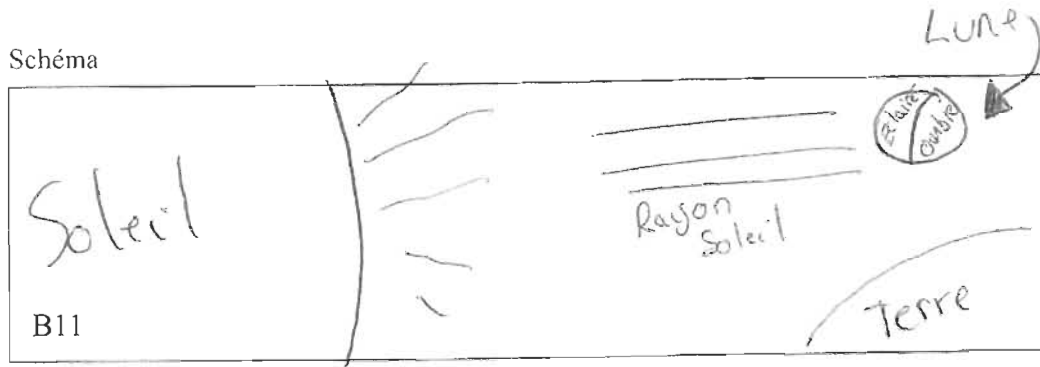


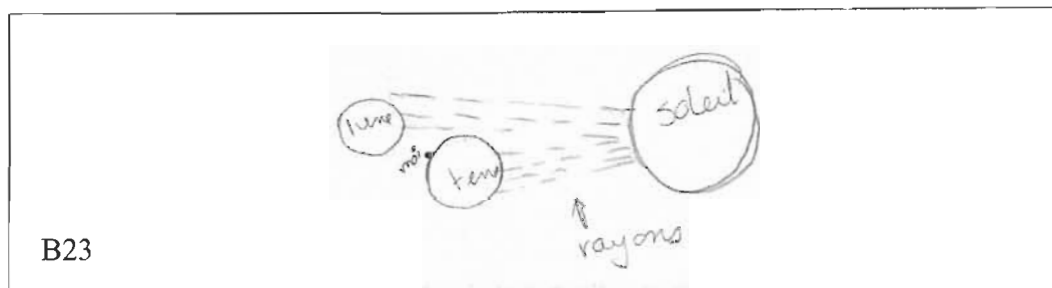
Figure 13 Schémas des sujets A25, B11 et A15 expliquant la forme de la Lune par la lumière du Soleil

Dans un tout autre ordre d'idées, des sujets expliquent que la « position » de l'observateur est « la nuit », plutôt que d'expliquer la position de l'observateur sur la Terre. Bien que sans répondre concrètement à la question posée, ils fournissent néanmoins une explication en soulignant que l'on doit être la nuit pour voir la Lune comme sur l'image, ou qu'elle est plus visible la nuit :

Lorsque je regarde la lune je regarde le soleil éclairer un autre pays tandis que le jour dans un autre pays c'est le soir (B7) ça ne peut pas être le jour et la nuit en même temps (B12), on peut mieux voir la lune quand il fait noir, car la lumière du soleil n'éclaire pas le ciel comme en plein jour (B20), c'est la nuit et il (homme) peut facilement voir la lune (B25), la partie où il fait nuit (A1,) il (bonhomme) peut ainsi observer la lune, la nuit, sans le soleil (A9), c'est la nuit chez nous sinon on verrait pas le soleil (A18)

Finalement, la position de l'observateur influe sur la forme visible de la Lune. Cependant, les dessins des sujets sont plus révélateurs que les explications, ces dernières étant plus difficiles à comprendre.

à chaque endroit sur la terre nous ne voyons pas la même lune (B22), l'homme lui est (...) du côté opposé d'où est le soleil (B25), sur la terre seulement une partie de la population de celle-ci peut voir ce phénomène (A1), notre position sur la terre ne peut être représenté sur le côté de la terre gauche (sur le dessin, sic), sinon on serait le jour (A3) , nous somme vis-à-vis la lune (A5), nous on est en dessous de tout ça car on peut observer ce phénomène (A7), nous de la terre nous voyons la lune de face (A25)



Schéma

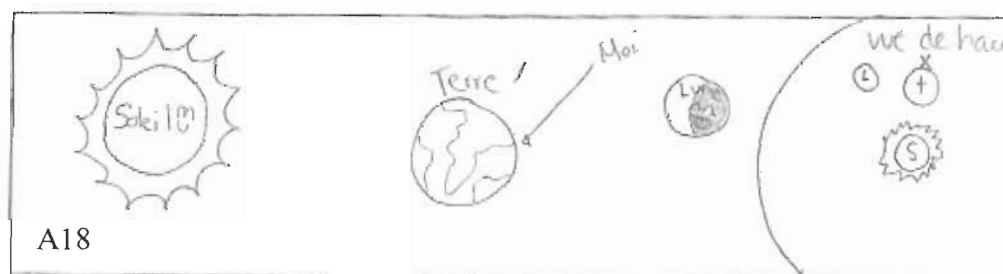
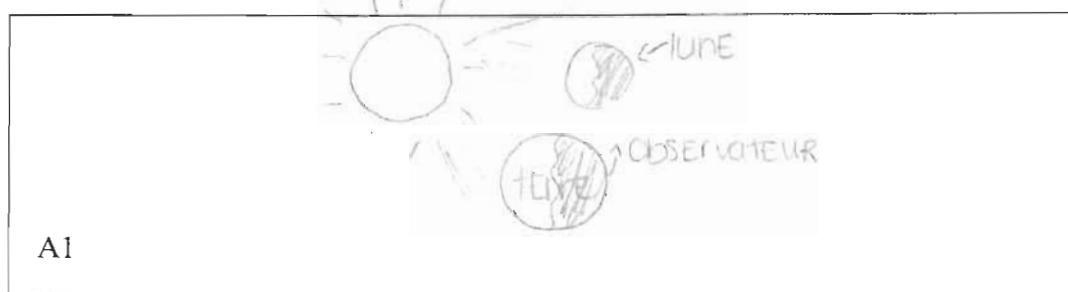
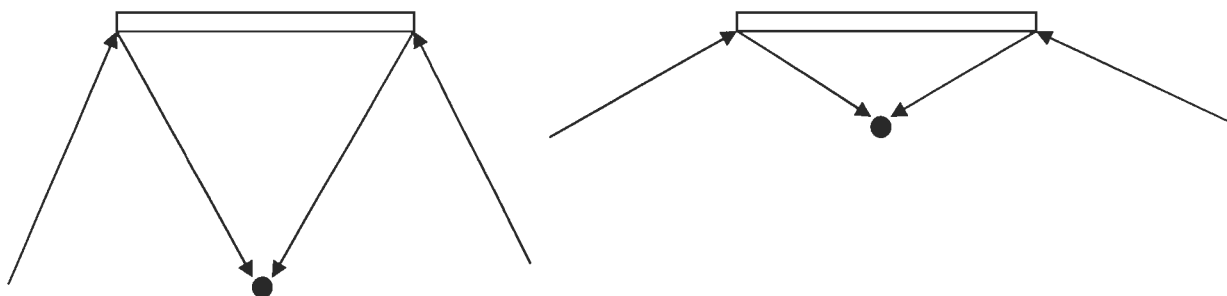


Figure 14 Schémas des sujets B23, A1 et A18 situant la position de l'observateur sur la Terre

Situation-problème 6

Cette dernière mise en situation abordait le concept du champ de vision dans un miroir plan, directement relié aux lois de la réflexion. Une des lois de la réflexion stipule que l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion. Par rapport au champ de vision, plus l'angle d'incidence vers le miroir est grand, plus le champ de vision sera grand. Plus on se rapproche d'un miroir et plus le champ de vision dans le miroir est grand. Les dessins ci-dessous permettent de comprendre plus facilement :



Les flèches dirigées vers le miroir représentent les rayons de lumière incidents. Le champ de vision dans le miroir est la zone entre les rayons incidents. Si l'observateur s'approche du miroir, l'angle des rayons incidents s'agrandit et le champ de vision dans le miroir s'agrandit.

La situation-problème était la suivante:

Le *champ de vision dans un miroir* est l'espace que l'observateur peut voir *dans le miroir*. L'observateur peut donc voir les objets ou ce qui se passe derrière lui en regardant *dans* le miroir.

Une personne placée à une certaine distance en face d'un miroir plan (droit) possède un certain champ de vision dans ce miroir. Si la personne se *rapproche* du miroir, qu'arrivera-t-il à la taille de son champ de vision : a) plus grand b) même taille ou c) plus petit ? Justifiez vos explications par un dessin.

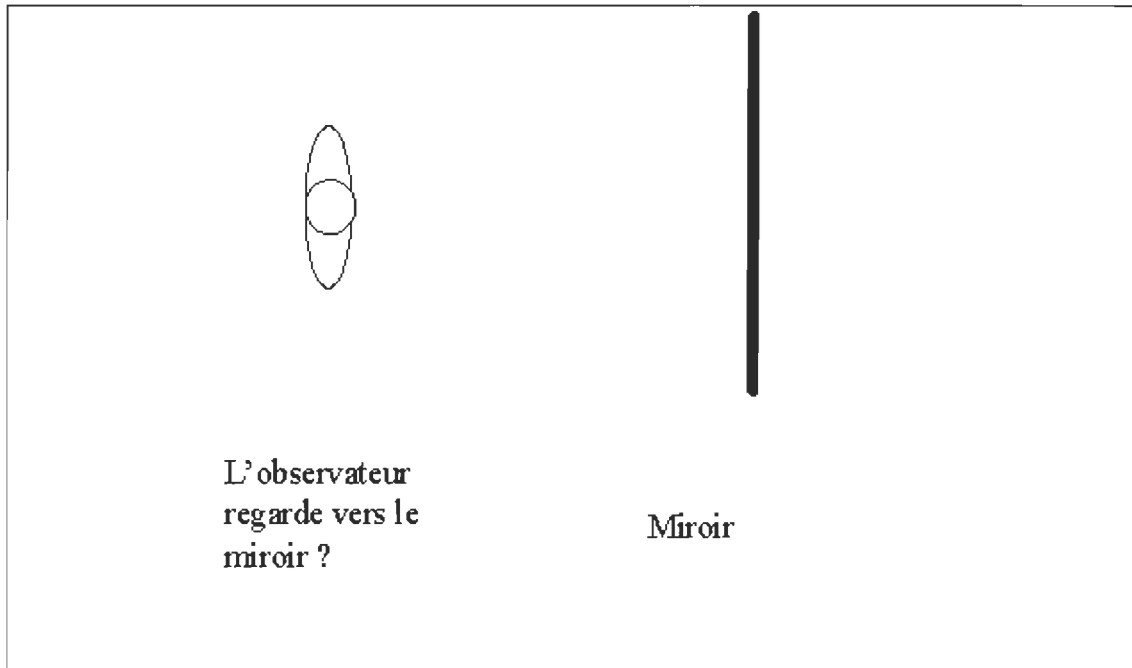


Figure 15 Illustration de la question 6 - Questionnaire sur la lumière

Une particularité de cette question est que certaines informations théoriques étaient présentées aux élèves dans l'énoncé même de la question. La notion de champ de vision est difficile à comprendre pour les élèves, même en classe de physique de cinquième secondaire. Beaucoup de sujets ont mentionné que le champ de vision serait plus petit plutôt que plus grand, soit 27 sujets sur 47 pour plus petit et 17 sur 47 pour le plus grand. Un très faible pourcentage indique que le champ de vision serait de même taille. À l'analyse des réponses, on peut penser que les sujets ont compris le concept du champ de vision comme « l'espace dans le miroir où l'on peut regarder » et non « l'étendue de ce qu'on peut voir à l'aide du miroir ».

Dans la grande majorité des cas (pour un champ de vision plus petit), les élèves ont expliqué qu'en s'avancant vers le miroir, on prenait plus de place dans ce miroir. De ce fait, il y avait moins de place pour voir les objets en arrière de nous dans le miroir.

Nous prenons plus de place dans le miroir parce que nous sommes plus proche (B1), il prend plus de place (...) son corps est trop prêt du miroir et cache (B2), son corps grossit et il empêche de voir le reste de la pièce(B7), si on est trop près alors on ne voit que son visage (B15), plus le personnage est près du miroir plus il prend de l'espace devant le miroir donc moins il y a de place pour les objets en arrière plan (B17), étant plus près, il se voit en plus gros plan donc il cache ce qu'il pourrait voir dans le miroir (B20), la personne voit plus d'elle-même et moins de décor (B21), son corps prends plus de place dans le miroir donc réduit le champ de vision (B24), le corps de l'observateur couvre plus d'espace devant le miroir (A8)

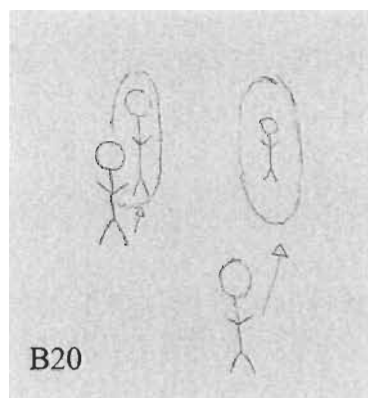
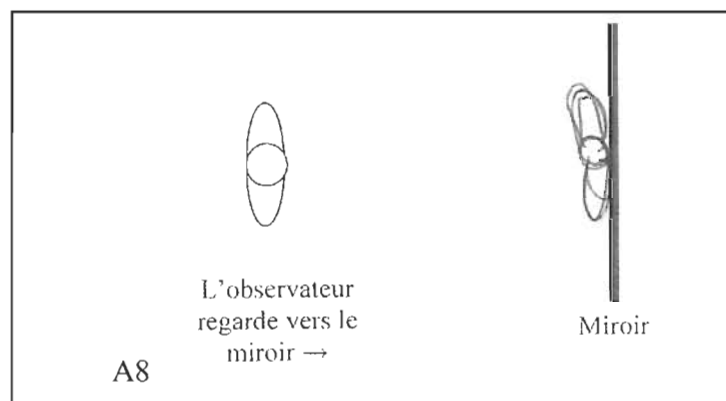


Figure 16 Schémas des sujets A8 et B20 expliquant la réduction du champ de vision par le rapprochement de l'observateur par rapport au miroir

De la même façon, les élèves expliquent qu'en se rapprochant, les objets deviennent plus gros, donc prennent plus de place :

Les objets paraissent plus gros (...) prennent plus de place donc on peut voir moins de choses (B6); les choses derrière plus grande (...) alors c'est plus gros (B22)

D'autres sujets utilisent le concept d'angle, appliqué de différentes façons selon les explications, et montrent son importance dans la taille du champ de vision. De la même façon, certains sujets ont dessiné des rayons de lumière et ainsi l'angle de ces rayons augmente quand l'observateur s'avance vers le miroir.

L'angle lui permet de voir plus large (...) et lui permet de regarder dans chaque angle du miroir (B18) notre vision est une angle qui grossit (sic) (A5), plus les rayons des côtés s'agrandit (A10), encore à cause des angles (A20), l'angle formé par l'œil et la surface du miroir s'agrandit (A2)

La page suivante présente quelques exemples de schémas de sujets.

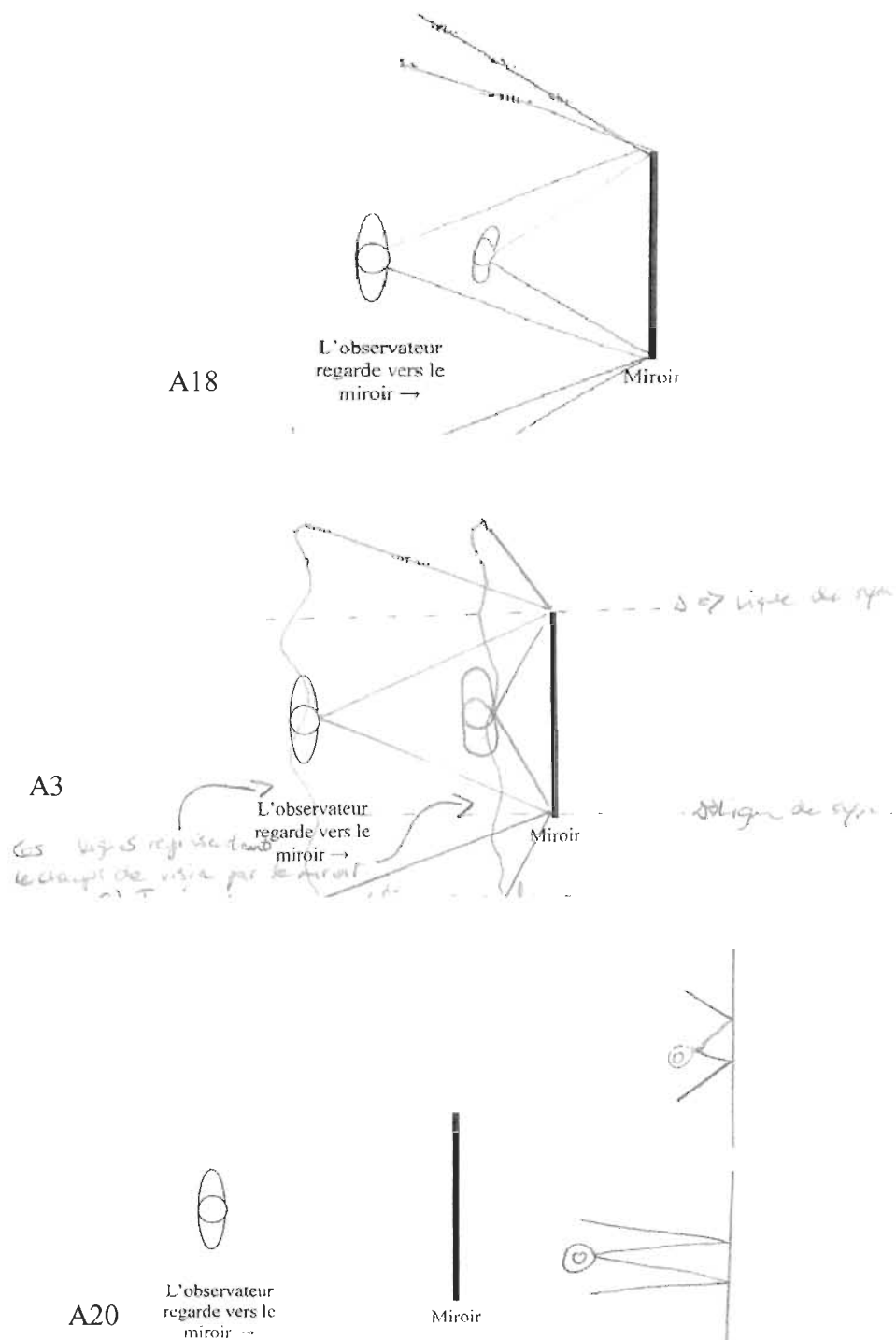


Figure 17 Schémas des sujets A18, A3 et A20 expliquant l'augmentation de la taille du champ de vision par les angles des rayons lumineux

Pour expliquer un champ de vision plus grand, les sujets font peu référence à des concepts ou à des unités de sens concrets. Ils stipulent seulement que l'observateur verra mieux, plus loin ou plus de choses, à cause de l'espace dans les côtés du miroir ou derrière l'observateur.

Voir beaucoup plus grand derrière toi (B14), plus notre champ de vision peut voir large (B19), voir plus loin en arrière et sur les côtés (B28), voir plus grand dans le champ de vision (A2) on peut voir plus de choses à l'arrière (A15), il voit mieux et peut ainsi voir plus loin (A23), verra mieux sur les côtés et aura une meilleure vision en arrière (A25), on voit plus les deux côtés de notre champ de vision (A24)

Pour cette mise en situation, les autres réponses sont disparates, ou ne comportent simplement pas d'explication. Certains sujets ont noté avoir manqué de temps pour cette dernière question.

4.3. Expérimentations et enregistrements sonores

Comme suite à la passation des questionnaires sur la flottaison, qui ne comportaient que trois questions ouvertes, les sujets devaient vérifier leurs réponses en expérimentant sur le sujet. En équipe de deux, ils eurent à leur disposition un ludion, des béciers, de l'eau, un bouchon de liège, un sou noir (pièce de monnaie) et du papier d'aluminium, soit les objets traités dans les questions. Les discussions des élèves (en dyades) furent enregistrées sur bandes sonores dans le but d'être analysées. Cependant, vu la piètre qualité des enregistrements sonores (vu la qualité du matériel d'enregistrement utilisé) et compte tenu des discussions ambiantes dans le laboratoire, ces enregistrements n'ont pu être analysés.

5. Discussion

5. Discussion

Dans un premier temps, les résultats de chaque questionnaire seront examinés et discutés par rapport aux raisonnements scientifiques produits. Ensuite, ces derniers seront expliqués par rapport aux théories scientifiques de la flottaison et de la lumière, au changement conceptuel, à la pensée formelle (Inhelder et Piaget, 1955) et aux différents types de raisonnements utilisés lors de raisonnement scientifique. Finalement, la réutilisation des connaissances sera abordée par l'explication du transfert analogique.

5.1. Situations-problèmes sur la flottaison

Le questionnaire sur la flottaison contenait trois situations-problèmes différentes : la première portant sur le comportement d'un ludion, l'autre sur la différence entre la flottaison d'un sou noir (pièce de monnaie) et d'un bouchon de liège et la dernière sur l'influence de la forme d'un objet sur sa flottaison. Pour chacune des questions, les élèves ont proposé des raisonnements pouvant être catégorisés selon les concepts ou unités de sens utilisés. Pour les deux dernières questions, des concepts semblables ont été utilisés : la différence de masse entre les objets ou entre les objets et l'eau, la masse volumique, la densité ou l'air comme cause de la flottaison. Aussi, pour la dernière question, les sujets ont expliqué l'importance de la répartition de la masse (ou du poids, les deux termes utilisés de la même façon) sur la surface de l'eau.

La densité et la masse volumique furent les concepts les plus utilisés par les élèves. Un seul concept relie les trois questions entre elles, celui de la présence d'air dans les objets. L'utilisation de l'air comme explication est quelque peu différente d'une question à l'autre mais reste néanmoins une cause de la dite flottaison.

Si les concepts et unités de sens diffèrent plus pour la première question, on peut toutefois souligner que la structure même de cette question diffère des deux dernières. Pour les deux dernières questions, c'est l'objet lui-même ou sa forme qui change, tandis que pour la première question c'est un processus que l'on demande à l'élève d'expliquer : « Comment peux-tu expliquer que le compte-gouttes descend dans la bouteille quand on exerce une pression? ». Bien que le thème (titre) du questionnaire ait été mentionné sur sa couverture, peu ou même pas d'élèves ont traité de la flottaison même du ludion dans leurs explications, traitant plutôt des notions d'espace, de pression ou de l'influence de l'air, soit par sa pression ou son déplacement.

Des tendances de raisonnement scientifique sont observables pour chacune des situations-problèmes, mais ces tendances ne se recoupent que faiblement dans l'ensemble du questionnaire, exception faite du concept de « l'air » :

Situation-problème du ludion :

- La présence d'air dans le ludion ou dans la bouteille explique le mouvement du ludion suite à une pression de la main. Soit par la variation de la quantité d'air, ou par un supposé mouvement de cette dernière.
- La pression de la main dans l'énoncé produirait pour les sujets une augmentation de la pression de l'air. Ce raisonnement se rapproche de la théorie scientifique, l'air étant compressible contrairement à l'eau. Le changement de pression de l'air produisait divers effets sur le ludion, comme sa descente au fond de la bouteille.
- La notion d'espace a été largement utilisée. Le ludion se dirigerait à l'endroit offrant le plus d'espace. Les sujets expliquent que le ludion quitte le haut de la bouteille parce qu'il y a moins d'espace à cause de la pression, ou qu'il descend au fond là où il y a plus d'espace.

Situation-problème du sou noir et du bouchon de liège :

- La masse volumique respective des objets et de l'eau ou la densité des objets explique qu'un objet flotte ou non. Certains sujets ont comparé les masses volumiques respectives des objets, ou ont comparé la masse volumique d'un objet à celle de l'eau.
- Pour nombre de sujets, le bouchon de liège flottait à cause de l'air qu'il contenait, comparativement au sou noir qui n'en contenait pas. Pour les sujets, les trous dans le bouchon étaient des endroits où de l'air « se logeait » ou « passait » pour le faire flotter.

Situation-problème de la forme du papier d'aluminium :

- Le poids de l'objet est distribué ou réparti sur une certaine surface. Plus la surface est grande, plus le papier flottera selon les explications des sujets.
- La forme d'un objet est responsable de sa flottaison.
- L'inclusion de l'air dans (ou à l'intérieur de la forme) le papier d'aluminium le faisait flotter, ou une mince couche d'air sous le papier le faisait flotter.

La majorité des catégories utilisées dans l'analyse recourent celles utilisées par Toussaint (2002) dans une étude sur les conceptions d'adolescents (13-14 ans) et d'étudiants universitaires (19-21 ans) sur la flottaison des objets. Dans cette étude, l'auteur classifiait les réponses des élèves selon 1) l'inclusion de l'air, 2) le poids de l'objet, 3) la pression, 4) la nature de la substance, 5) la dimension de l'objet, 6) la forme de l'objet, 7) le vocabulaire scientifique. L'analyse fut réalisée avec toutes les questions, en présentant l'analyse des réponses selon les catégories et non pour chaque situation-problème comme dans cette étude. Pour la majorité des catégories, les réponses des sujets de la recherche rejoignent aussi les résultats de Toussaint (2002).

Dans leur essai sur la construction des opérations formelles, Inhelder et Piaget (1955) utilisèrent le phénomène de la flottaison avec des sujets d'âges variables. Les sujets devaient classer les objets selon qu'ils flottent ou non sur l'eau, pour ensuite expliquer les raisons de leur classement, puis expérimenter avec ces objets. Dans cette étude, certains des sujets de douze à quinze ans comparent le poids de l'objet à celui de l'eau, le poids de l'objet avec son volume ou le poids de l'objet avec le volume d'eau déplacé. Les auteurs concluent que les sujets expliquent des règles qui requièrent des habiletés de raisonnement avancées et qu'ils doivent comprendre les proportions et raisonner sur de l'information qui n'est pas directement observable pour expliquer de telles règles. Par « information non directement observable » on peut penser au volume d'eau déplacé qui n'est pas toujours visible, mais encore plus aux forces en présence, qu'il est impossible de quantifier par simple observation.

5.2. Situations-problèmes sur le comportement de la lumière

Dans le questionnaire sur les comportements de la lumière, six situations-problèmes étaient soumises aux sujets. Pour la majorité des situations, il était question de la propagation rectiligne de la lumière. La propagation rectiligne de la lumière étant responsable de la formation de l'ombre et de la pénombre et de la taille du champ de vision dans un miroir. Une seule question traitait de la couleur, soit de la soustraction ou de l'addition des couleurs par l'emploi de filtres. Les sujets ont réutilisé des éléments de réponses au fil des situations-problèmes, soit l'angle de la lumière, la notion d'obstacle ou la position relative entre l'obstacle et la source lumineuse dans la formation d'ombre. La question pour laquelle les sujets ont fourni le moins de réponses est la question sur le champ de vision. Le manque de temps est une cause possible, mais la complexité de ce phénomène est peut-être une autre cause. Les élèves n'avaient jamais étudié les lois de la réflexion et sans ces concepts et notions, il leur est difficile de fournir une explication.

Quelques tendances des raisonnements scientifiques des sujets peuvent être expliquées :

1) La notion d'angle a été largement utilisée par les élèves, particulièrement pour la situation-problème de l'ombre avec le lampadaire (1) et celle des paravents troués (3). Ils expliquent l'impact de l'angle de la lumière sur la taille d'une ombre et la variation de la taille d'une surface éclairée à cause de l'angle d'incidence des rayons lumineux. Parallèlement, certains sujets ont aussi souligné l'impact de l'angle de la lumière (ou des rayons) sur la taille du champ de vision dans un miroir. Ces raisonnements se rapprochent d'un raisonnement mathématique.

2) La lumière ne traverse pas les objets opaques et les sujets ont utilisé à profusion cet élément de réponse. Dans toutes les situations-problèmes, même dans celle traitant de la couleur, l'obstacle devenait explication. Pour les sujets, en empêchant la lumière de passer, l'obstacle faisait varier la taille des ombres (lampadaire et dragon). L'obstacle modifiait aussi la quantité de lumière pouvant passer dans les trous des paravents et finalement, la forme de la Lune et/ou la Terre faisant obstacle à la lumière du Soleil.

L'obtention du noir dans la situation-problème des couleurs a aussi été expliquée par des sujets comme une absence de lumière puisque les filtres ou les particules de couleurs bloquaient en partie ou en totalité la lumière.

Dans le cas du champ de vision dans un miroir, c'est l'observateur lui-même qui devenait obstacle à la vue dans le miroir. L'utilisation du terme ou de l'unité de sens diffère, tout comme le sens du mot obstacle dans ce cas. En faisant abstraction du terme lumière, la notion d'obstacle a été l'unité de sens la plus employée des sujets parmi toutes celles recensées lors de l'analyse.

3) Conjointement à la notion d'obstacle, la position relative de l'obstacle par rapport à la source lumineuse a été abondamment utilisée pour expliquer la taille et la forme des ombres, comme dans le cas de l'ombre du dragon sur la toile et de la forme visible de la Lune. Pour la situation-problème du dragon, le déplacement se faisait seulement sur un axe, en avançant ou en reculant, tandis que pour la Lune, les sujets devaient se représenter une orbite circulaire, ou un mouvement en deux dimensions, ce qui pouvait être plus ardu pour certains. Cette même notion a aussi été utilisée par des sujets pour expliquer la taille de l'ombre dans la première situation-problème.

4) Certains concepts des phénomènes lumineux ont également servi dans les réponses des élèves. Sans que ces réponses reviennent couramment dans les situations-problèmes, elles sont cependant intéressantes à soulever. Considérons par exemple la diffusion d'une source lumineuse dans tous les sens. Les élèves invoquent que : « la lumière s'agrandit, devient un cône ou projette autour d'elle ». « La lumière se déplace en ligne droite », en référence à la propagation rectiligne, ce qui a permis d'expliquer la quantité de lumière passant ou non au travers des paravents troués.

Métioui et al. (2002), reconstituèrent les conceptions spontanées d'étudiantes universitaires sur des notions d'ombre et de lumière. Plusieurs questions du présent questionnaire sont inspirées de cette étude, comme les mises en situation 1, 2, 3 et 5 (lampadaire, paravents troués, dragon et Lune). Les sujets devaient principalement répondre en dessinant les rayons lumineux sur des schémas et leurs réponses étaient analysées selon leur véracité ou leur caractère scientifique, en classifiant les réponses en bonne ou fausse conception. Suite à l'analyse, les auteurs observèrent que « *seule une faible proportion des sujets interrogés (20 % à 30 % selon les questions) appliquent le principe de la propagation rectiligne pour déterminer une région d'ombre ou une région éclairée dans une situation donnée (p. 146)* » et « *qu'une*

majorité d'adultes conservent, au sujet des ombres, les conceptions erronées de leur enfance (p. 151) ».

Inhelder et Piaget (1955) utilisèrent aussi la projection des ombres pour vérifier les habiletés de pensée en fonction de l'âge des sujets. Une expérience était présentée aux sujets : des cercles de diamètres variés étaient interposés entre une source lumineuse et un plan de projection et la grandeur des ombres variait selon le diamètre des cercles et la distance entre les cercles et la source lumineuse. Les sujets devaient ensuite réaliser la tâche demandée, soit former deux ombres pouvant se superposer (Pour la description complète, lire Inhelder et Piaget, 1955, p. 173).

Les auteurs soutiennent qu'entre douze et quinze ans les sujets sont capables de faire des hypothèses sur la proportionnalité entre les distances et la taille des ombres. Dans notre recherche, les sujets suggèrent le même genre d'explications, en disant que la taille de l'ombre variera en fonction de la distance entre la lumière et l'obstacle, ou en fonction de la distance de l'obstacle avec la toile, la position de la source restant constante.

5.3. Réponses des sujets parallèlement à la théorie scientifique

Cette recherche tentait de décrire les raisonnements scientifiques d'élèves de quatrième secondaire sur les thèmes de la lumière et de la flottaison. En aucun temps, le but était de retrouver des réponses « scientifiques » ou d'obtenir des sujets de « vraies » explications sur la lumière ou la flottaison. De la même manière, la simple utilisation de concepts scientifiques ne devait pas non plus être un gage de « bon » ou d'un « vrai » raisonnement lors de l'analyse des réponses. C'est plutôt l'utilisation et la façon d'employer ces concepts dans les raisonnements des élèves qui nous intéresse ici. Dans les recherches sur le changement conceptuel, les concepts scientifiques servent souvent comme une « mesure » de la qualité des réponses. Les plus près sont les réponses des sujets des concepts « scientifiques » ou plus les

concepts sont nombreux; meilleures deviennent les réponses. von Aufschnaiter (2006) soutient que ce n'est pas la quantité et la précision des concepts utilisés par les élèves, mais bien la qualité de leur compréhension qui importe. Elle souligne aussi que n'importe quelle compréhension conceptuelle est déjà une amélioration, même si elle n'inclut pas le point de vue scientifique. De ce fait, même si un élève n'utilise pas les vraies définitions ni les termes précis pour décrire des lois ou des concepts, cela n'exclut pas une certaine compréhension.

De la même manière, sans utiliser de termes ou concepts scientifiques, certains de ces élèves ont pu montrer des habiletés de raisonnement scientifique. Beaucoup de réponses expliquent la théorie scientifique, mais à l'aide d'autres mots, expressions ou interprétations. Par exemple, pour expliquer que l'air se comprime dans le ludion suite à la pression de la main, un sujet pourra dire « que l'air a moins de place », ce qui revient pratiquement à la même explication. Aussi, un sujet explique que « le poids du bouchon de liège est petit comparé à sa taille », ce qui sous-entend une comparaison entre le poids et le volume, un des principes de la flottaison. Finalement, sans jamais faire référence au Principe d'Archimède ou à des forces, les sujets ont traité de densité, de masse volumique et de rapport poids-volume ou masse-volume. Mais comment font-ils pour expliquer des notions scientifiques (comportements de la lumière et flottaison) qu'ils n'ont jamais étudiées ou apprises en classe? C'est là que se situe toute la question. L'analyse de contenu a permis de catégoriser les réponses des sujets en fonctions du sens de leurs réponses ou des concepts utilisés. À première vue, on peut aisément observer la prépondérance de notions et de concepts déjà étudiés au fil du parcours scolaire des élèves. Pour les deux sujets abordés, soit la lumière et la flottaison, les élèves ont utilisé des concepts appris au cours de leur parcours scolaire et les ont réutilisés pour expliquer les phénomènes.

5.4. Réutilisation des connaissances et conceptions des élèves

Les adolescents, comme les enfants et les adultes, entretiennent des conceptions sur beaucoup de sujets scientifiques. Ces conceptions sont pour eux des explications du monde qui les entoure et des phénomènes scientifiques. Si ces conceptions ne rejoignent pas les théories scientifiques, elles pourront nuire à l'apprentissage de nouveaux concepts. Cependant, certains auteurs soulignent que toutes les conceptions préalables ne sont pas « mauvaises », qu'elles peuvent être cohérentes et logiques en partie et même constituer le début d'une véritable modélisation (Chi, 2005; Joshua et Dupin, 1993). De ce fait, les sujets de cette étude ont assurément utilisé des conceptions qu'ils entretenaient sur la lumière et la flottaison, tout comme des connaissances préalables. Les sujets interrogés avaient pratiquement dix ans d'apprentissage scientifique et mathématique derrière eux. Au cours de leur parcours scolaire, les sujets ont vu défiler des dizaines, voire même des centaines, de concepts ou de connaissances scientifiques qu'ils peuvent ou pourront réutiliser un jour.

La recherche sur les conceptions et le changement conceptuel met souvent l'accent sur la fausseté des conceptions des élèves et sur la rigidité de ces conceptions lors de l'apprentissage de nouveaux savoirs. Mais plutôt que de toujours les voir comme un frein, pourquoi ne pourrait-on pas les considérer comme un départ ? Certains chercheurs présentent le changement conceptuel comme une continuité, mais l'échec à l'enseignement est couramment expliqué par les conceptions préalables des élèves. Ici, les sujets utilisent autant leurs conceptions préalables de la flottaison que leurs savoirs anciens et les amalgament pour répondre aux problèmes soulevés. Mais la réutilisation de savoirs et de concepts n'est-elle pas la preuve d'une forme de raisonnement ?

À partir des réponses des élèves, il devient possible de tisser des liens entre les connaissances antérieures des élèves, leurs conceptions des thèmes abordés, les

représentations qu'ils en font et les explications qu'ils proposent. Une caractéristique majeure des réponses est l'utilisation de cet ensemble, mais surtout sa coordination en un tout cohérent. En combinant des concepts déjà vus dans le parcours scolaire à des conceptions préalables, les sujets parviennent à créer de toute pièce des explications logiques, des raisonnements et parfois même à expliquer des théories scientifiques qui ne leur ont jamais été enseignées. Par exemple, les phénomènes lumineux, tout comme la flottaison, mettent en jeu toute une réutilisation de connaissances mathématiques : les notions d'angle, de proportion, de forme, d'espace (place), de volume ou de surface. Même si ces notions sont traitées ou utilisées presque quotidiennement en classe de sciences, elles ont cependant pratiquement toutes été enseignées au préalable en classe de mathématique au cours du primaire ou du premier cycle du secondaire. De ce fait, les réponses des élèves contredisent en partie le fait que les conceptions des élèves nuisent toujours à l'apprentissage de nouvelles théories.

5.5. Pensée formelle, production d'hypothèses et capacité d'abstraction

Parallèlement à la réutilisation des connaissances, on peut voir dans les raisonnements des élèves la production d'hypothèses. La production d'hypothèse est vue par certains comme la clé des habiletés de raisonnement scientifique (Dunbar et Fugelsang, 2005 ; Kuhn et al., 1988). Dans cette recherche, les sujets devaient résoudre les situations-problèmes en répondant aux questions demandées et en expliquant leurs réponses. La presque totalité des sujets n'avaient jamais étudié en classe de sciences les phénomènes questionnés. Pour répondre aux situations, ils devaient réutiliser certains savoirs, mais surtout générer des hypothèses pour appuyer leurs réponses.

Piaget morcelait le développement cognitif en quatre stades, le stade *sensorimoteur* suivi du stade *préopératoire* puis du stade des *opérations concrètes*; le dernier stade,

débutant à l'adolescence est le stade des *opérations formelles*. Piaget (1983, dans Pressley et McCormick, 2007) présentent ce stade des opérations formelles comme le stade culminant dans la séquence des stades du développement cognitif. Une seule structure logique émergerait à l'adolescence et cette dernière assurerait la combinaison systématique et le contrôle des variables. Inhelder et Piaget (1955) voyaient la pensée formelle, acquise vers quatorze ou quinze ans, comme hypothético-déductive :

«La pensée formelle est, en effet, essentiellement hypothético-déductive : la déduction ne porte plus directement sur les réalités perçues, mais sur des énoncés hypothétiques, c'est-à-dire des propositions formulant des hypothèses ou posant les données à titre de simples données, indépendamment de leur caractère actuel : la déduction consiste alors à lier entre elles ces suppositions en tirant leurs conséquences nécessaires même lorsque leur vérité expérimentale ne dépasse pas le possible (p. 220)».

De plus, une des propriétés de la pensée formelle est de porter sur des éléments verbaux et non seulement sur des objets mais est aussi caractérisée par une extension du réel vers le virtuel. Les sujets sont capables de relier entre eux des concepts abstraits comme la densité à des concepts plus concrets comme la forme. Ou d'expliquer la flottaison par la masse volumique, concept « abstrait » s'il en est un. Il en ressort que les élèves sont capables d'expliquer un ou des phénomènes invisibles ou seulement à partir de questions, et non d'expérimentations ou d'observations. De la même manière, ils supposent des données d'angles, de distances ou de positions, tout en étant capables de traiter de leurs diverses proportions.

Inhelder et Piaget (1955) expliquaient que : *«L'hypothèse joue un rôle dans le fonctionnement de la pensée, (...) la conduite de l'hypothèse, qui permet au sujet de dépasser ce qu'il perçoit ou conçoit, avec croyance au réel, pour s'engager dans la*

direction de ce qui peut être conçu sans décision actuelle quant à la vérification (p.231) ».

Pour répondre aux situations-problèmes proposées, les sujets ont formulé des raisonnements scientifiques, raisonnements basés en partie sur les conceptions et savoirs qu'ils possédaient ou qu'ils ont créés pour répondre à la situation. Sans adhérer totalement aux travaux de Piaget ou ceux d'Inhelder et Piaget, certaines de leurs théories rejoignent l'idée que les sujets ont démontré de réelles habiletés de pensées, par le fait qu'ils ont réussi à produire des explications cohérentes (dans leurs systèmes explicatifs) en utilisant leurs conceptions et schémas explicatifs et des concepts scientifiques et mathématiques.

De plus, ces explications étaient produites sans expérimentations ou observations, de manière totalement abstraite. De la même manière, Raghavan, Sartoris et Glaser (1998), dans une brève recension de recherches sur la flottaison et la pression, soutiennent que:

« In summary, researchers from a variety of perspectives have established that to understand floating and sinking, students must be able to reason about abstract ideas and build adequate conceptual frameworks. (p. 549)»

La seule possibilité pour les élèves était de réfléchir sur la situation-problème et d'émettre un raisonnement en créant des liens entre la situation, leurs structures conceptuelles et certains éléments qu'ils avaient en mémoire. Si l'on suggère que des sujets réutilisent des savoirs appris en classe de mathématiques ou de sciences, peut-on automatiquement parler de transfert d'apprentissages ?

5.6. Transfert de connaissances et de conceptions : un transfert analogique ?

Les sujets de cette recherche possédaient en mémoire toute une gamme de concepts et d'apprentissages, issus de leurs expériences de vie et de leur parcours scolaire, et

plusieurs de ces éléments furent réutilisés pour produire des explications aux situations-problèmes. Par cette réutilisation, les sujets démontrent un certain niveau de raisonnement analogique. Le raisonnement analogique est un processus par lequel un sujet transfère ou généralise à partir de la représentation d'un modèle qu'il comprend déjà, pour expliquer un autre phénomène (Watters et English, 1995). On peut aussi le voir comme une stratégie conceptuelle permettant de faire des déductions sur un nouveau phénomène ou de transférer des apprentissages.

L'analogie possède aussi deux utilités : l'illustration et l'explication ou la résolution de problème. Dans le cas présent, l'utilisation du raisonnement analogique avait pour but l'illustration et l'explication de phénomènes. Une analogie possède deux composantes : la source et la cible; la cible est le concept à expliquer, et la source est une connaissance utilisée pour comprendre ou expliquer la cible. Construire une analogie requiert du sujet de *générer* la source qui expliquera la cible. Ensuite, il devra se représenter mentalement la source et la cible, puis créer des liens entre des éléments de chaque composante, liens basés sur la correspondance des relations dans chacune. Dans le cas présent, comme en résolution de problème, le transfert analogique nécessite la *récupération* de la source plutôt que sa *génération*. La récupération se fera dans la mémoire à long terme tandis que les liens se feront sur demande par l'utilisation de la mémoire de travail (Nersessian, 2007).

La première mise en situation du questionnaire sur la lumière (Ombre de la fille par rapport au lampadaire) montre ce type de raisonnement, certains sujets ayant répondu à la question avec un concept mathématique, soit la loi des triangles semblables :

Question de mathématique (triangles). (...) l'hypoténuse et la cathète rallongent et le triangle étant proportionnel, l'autre cathète rallonge de même. (A3)

(Triangle rectangle) Plus on agrandit la base, plus l'hypoténuse est grande. (A20)

Comme dans un triangle rectangle, si l'angle est plus grand, le côté opposé sera plus grand. (A22)

Des citations précédentes, on peut souligner l'utilisation d'un raisonnement analogique pour répondre à la question posée, celle de la comparaison avec des triangles. La source était le concept que le sujet comprenait déjà, les triangles semblables et la cible était la taille de l'ombre, le phénomène qu'il voulait expliquer.

De la même manière, la réutilisation du concept de masse volumique par plusieurs pour expliquer la flottaison sous-tend un raisonnement analogique. Pour la question comparant un sou noir à un bouchon de liège, près de la moitié des sujets ont utilisé le concept de masse volumique dans leur réponse. Dans pratiquement tous ces cas, les élèves comparaient la masse volumique de chaque objet par rapport à celle de l'eau.

La masse volumique de sou noir est plus grande que celle de l'eau, la masse volumique du bouchon est moins grande que celle de l'eau (A4) ; masse volumique est plus élevée que celle de l'eau, celle du bouchon de liège est moins élevée (A11).

La source est le concept de masse volumique, la cible étant les différences de flottaison des deux objets. La masse volumique est un concept largement présent dans les volumes de sciences au secondaire. Ce concept avait déjà été enseigné à tous les niveaux du secondaire, dans les cours de sciences à chaque niveau, et même au début de l'année, quelques mois avant la collecte des données. Un tel enseignement explique possiblement le fait que la presque totalité des élèves y ont fait référence pour une ou plusieurs réponses du questionnaire de la flottaison.

Holyoak (2005) explique le transfert analogique par l'utilisation de la source pour générer des déductions sur la cible. L'analogie serait un type de raisonnement inductif. Le raisonnement analogique va au-delà de l'information initiale : en

utilisant des connections systématiques entre la source et la cible, il y a génération de déductions par rapport à la cible. Cependant, les déductions produites ne se pas toujours vraies ou logiques. Les exemples cités ci-haut sont logiques et rejoignent la théorie scientifique dans une certaine mesure, mais tous les transferts analogiques produits par les sujets ne le sont pas. La mise en situation portant sur les couleurs dans le questionnaire de la lumière en est un exemple.

Pour des sujets, l'addition de plusieurs filtres pour obtenir une couleur distincte ou du noir est explicable par l'addition des couleurs, comme avec de la peinture. La source utilisée par les élèves est la peinture et ses possibilités de mélange, la cible étant la production de lumière colorée par des filtres. Dans cet exemple, le problème est la déduction faite par les sujets pour relier la source et la cible. Ils ont déduit que c'était identique à de la peinture quand, au contraire, rien ne relie les deux concepts. Cependant, les sujets ont produit d'autres déductions pour expliquer les situations-problèmes.

Ces conclusions rejoignent celles de Brown et Clement (1989), de Bearman et al., (2002) et de Richland et al., (2006) soutenant le fait que les adolescents sont capables autant de générer des analogies que de résoudre des problèmes par transfert analogique. Ces auteurs expliquent que les habiletés de raisonnement analogique de haut niveau relationnel augmentent avec l'âge, en raison de l'augmentation de la capacité de la mémoire de travail et de l'augmentation de savoirs relationnels.

5.7. Raisonnement déductif et raisonnement inductif

La méthodologie ne permettant pas une analyse exhaustive des types de raisonnement et de leur prévalence, il est tout de même possible de dégager certains types de raisonnement fréquemment utilisés. À part le raisonnement analogique, le raisonnement inductif et déductif furent les plus utilisés.

Raisonnement déductif

L'habileté de déduction serait nécessaire pour réaliser du transfert analogique, mais ce type de raisonnement peut aussi être utilisé seul. Pour toutes les réponses reliant une ou des variables à un effet, on peut parler de raisonnement déductif. Ces relations sont inclusives ou exclusives. Par l'inclusion, la conclusion indique une relation entre une ou plusieurs variables et un effet. Par l'exclusion, la conclusion montre qu'une évidence n'indique pas de relation entre une ou plusieurs variables et un effet.

En grande majorité, le raisonnement déductif était inclusif, les sujets tentant d'expliquer les variables qui causent le phénomène, et non le contraire. On peut aussi dénoter quelques exemples de raisonnement conditionnel, par l'utilisation des sujets des mots « *si (...) alors* » dans leurs explications.

Raisonnement inductif

Ce dernier type de raisonnement a été largement utilisé par les sujets, pour expliquer les phénomènes présentés. Le raisonnement inductif peut être simplement expliqué comme le fait d'induire la ou les causes d'un phénomène. Les sujets devaient dégager les causes ou raisons des phénomènes scientifiques présentés avant de produire des raisonnements.

5.8. Changement conceptuel et raisonnement scientifique

Les résultats obtenus montrent la production de raisonnements scientifiques par certains élèves sur les thèmes de la lumière ou de la flottaison. Les instruments de collectes de données ne peuvent fournir la preuve de changements conceptuels chez les élèves, les instruments n'ayant pas été construits dans cette optique. Cependant, la production de raisonnements scientifiques devient un indice. Lors de la résolution de situations-problèmes et durant la production de raisonnements scientifiques, les élèves ont réalisés des changements conceptuels. Reasonner sur des concepts scientifiques implique la création de nouveaux liens entre des savoirs et des connaissances préalables, des conceptions et des représentations. De ce fait, même si les théories sur la lumière et la flottaison n'ont pas été enseignés aux élèves, des changements conceptuels ont été réalisés.

Malgré les changements conceptuels opérés par les élèves, les résultats de la recherche ne permettent pas une utilisation didactique. Les élèves ont raisonné sur des phénomènes physiques, mais les résultats sont difficilement transférables à la classe de sciences. Par contre, la recherche montre que l'utilisation de situations-problèmes devrait être valorisée. La résolution d'une situation-problème nécessite l'emploi d'une multitude d'habiletés cognitives et d'habiletés de raisonnement, et ce, peu importe la matière scolaire. Une plus grande utilisation didactique des situations-problèmes contribuerait au développement de diverses habiletés cognitives chez les élèves.

5.9. Réponse aux questions et aux objectifs de la recherche

En réponse aux objectifs de cette recherche, certains raisonnements ont pu être observés dans les réponses des sujets. Lors des collectes de données, certains élèves ont été déstabilisés par les thèmes physiques qui leur étaient inconnus. Quelques-uns ont montré des signes d'inquiétude ou d'incapacité à répondre aux situations-problèmes. L'auteure a expliqué aux élèves que le but recherché n'était pas « les bonnes réponses » mais les explications, idées, pensées ou descriptions qui leur venaient en tête.

Les élèves ont produit des raisonnements scientifiques, mais les conclusions de cette recherche portent sur des raisonnements effectués sur des questions précises liées aux phénomènes lumineux ou la flottaison, dans deux classes de quatrième secondaire d'une école québécoise. Cependant, il serait faux de penser que ces raisonnements pourraient être élargis automatiquement à d'autres domaines de la physique ou que le même questionnaire administré à d'autres élèves du même âge aurait produit les mêmes conclusions.

5.9.1. Questions de recherche

Les résultats obtenus indiquent que divers types raisonnements scientifiques ont pu être décelés dans les réponses des sujets. Pour chacun des thèmes abordés, des tendances dans les raisonnements scientifiques des élèves ont été dégagées, ces tendances permettant de répondre aux questions de recherche.

5.9.2. Objectifs de la recherche

Le premier objectif de la recherche consistait à dégager les raisonnements scientifiques des élèves sur les thèmes des phénomènes lumineux et de la flottaison. L'analyse de contenu a permis de catégoriser les différents raisonnements

scientifiques des élèves. Cependant, le second objectif de la recherche n'a pu être pleinement atteint.

Le second objectif de la recherche était d' « Expliquer les raisonnements scientifiques produits par les élèves de quatrième secondaire sur les thèmes des phénomènes lumineux et la flottaison ». Malgré les pistes de réflexion proposées par l'auteure dans ce présent chapitre, les raisonnements scientifiques des élèves ne peuvent être expliqués de manière incontestable. Les instruments de collectes de données servaient avant tout à dégager et à observer les raisonnements scientifiques des élèves, et n'ont pas permis d'expliquer la provenance et les mécanismes de production des raisonnements scientifiques.

6. Conclusion

6. Conclusion

Cette recherche avait pour but de dégager et d'analyser les réponses d'élèves de quatrième secondaire d'une école québécoise à des situations-problèmes traitant de la flottaison ou des phénomènes lumineux. La chercheuse étant enseignante, cette recherche se situait dans le champ de la didactique des sciences, spécifiquement dans des domaines reliés à la physique. Contrairement au domaine des sciences cognitives dans lequel des recherches sont souvent dénuées de contextes réels, cette recherche se déroula en contexte de classe de sciences et se voulait aussi naturelle que possible pour les élèves, comme tout autre cours de sciences physiques habituellement à l'horaire. L'utilisation de situations-problèmes avait pour but de laisser aux élèves la plus grande latitude possible pour l'explication des réponses, dans le but d'obtenir les données les plus riches possibles, sans les contraindre à des réponses à choix multiples.

Tant pour la flottaison que pour les phénomènes lumineux, les élèves ont produit des raisonnements scientifiques. Bien que plus simples sur le thème de la flottaison, ces raisonnements ont démontré leur habileté à faire des liens entre les situations-problèmes, leurs connaissances préalables et leurs conceptions des thèmes abordés. Le transfert analogique fut beaucoup utilisé par les élèves, et nécessitait la réutilisation de connaissances par l'élève. On peut aussi souligner l'importance de l'abstraction dans la production des réponses par les sujets. Compte tenu des questions suggérées, ils devaient *produire* une explication, puisque les sujets abordés n'avaient jamais été enseignés, avec comme seul outil leurs habiletés de pensée.

Après avoir observé et analysé de plus près les raisonnements de ces élèves sur la flottaison et les phénomènes lumineux, on peut cependant se demander par quels processus ils en sont arrivés à ces réponses donc à ces raisonnements scientifiques.

Si l'analyse avait davantage portée vers les types de raisonnement utilisés - causal, analogique, conditionnel, quelles en auraient été les conclusions ? Parallèlement, cette recherche donnerait-elle les mêmes résultats dans une autre école québécoise ou dans une école étrangère avec des sujets de même âge ? Les raisonnements produits sont-ils le fait d'individus ou de toute une scolarisation ? Il serait donc intéressant d'analyser les réponses venant d'autres échantillons, ou même d'observer le développement d'habiletés de pensée au cours d'un processus de scolarisation dans le système scolaire québécois.

6.1. Et si c'était des modèles mentaux ?

L'analyse de cette recherche ne permet pas d'avancer que les sujets ont utilisé ou même créé des modèles mentaux pour répondre aux situations-problèmes, mais il serait intéressant d'aller voir plus loin. Les modèles mentaux sont des représentations dynamiques et génératives fournissant des explications causales ou servant à faire des prédictions sur des phénomènes physiques. Ils sont plus généraux que les préconceptions, et permettraient d'expliquer plusieurs phénomènes scientifiques à partir d'un seul modèle. Nersessian (2007), considère le modèle comme une représentation d'un système avec des parties interactives et possédant des représentations de ces interactions. Les modèles peuvent être des représentations d'objets, de processus ou d'événements qui expriment des relations structurales, comportementales ou fonctionnelles servant à comprendre des interactions. Il serait donc intéressant de vérifier la présence ou l'utilisation de modèles mentaux sur les thèmes de la flottaison et de la lumière chez les adolescents.

Finalement, puisque cette recherche s'est intéressée au raisonnement adolescent en un instant précis, par deux collectes de données rapprochées dans le temps, on peut aussi s'interroger sur le développement futur des habiletés de raisonnement de ces sujets.

Leurs habiletés cognitives continueront-elles à se développer ou stagneront-elles dans le futur ?

6.2. Raisonnement scientifique et développement cognitif

Les résultats de cette recherche indiquent que des sujets de quinze ou seize ans présentent des habiletés de raisonnement scientifique comme la production d'hypothèses et le transfert analogique pour expliquer divers phénomènes. Mais tous les sujets n'ont pas démontré les mêmes habiletés. Est-ce seulement le contexte qui explique une piètre performance ou un développement d'habiletés cognitives moindre que d'autres sujets ? Kuhn et Franklin (2006a) soulignaient que les variations entre individus sont beaucoup plus prononcées à l'adolescence qu'à l'enfance quant aux habiletés intellectuelles. Aussi, ils expliquent que le développement cognitif n'atteindra pas le même niveau pour tous, même à l'âge adulte. Une telle conclusion suggère la valorisation du développement cognitif des adolescents, mais aussi des enfants, puisque les habiletés acquises au cours de l'enfance pourront continuer à se développer et favoriser l'émergence de nouvelles aptitudes à l'adolescence.

6.3. Raisonnement scientifique et programme de formation de l'école québécoise

Contrairement au domaine de la mathématique où une des compétences citées est « Déployer un raisonnement mathématique », le nouveau programme de formation de l'école québécoise (PFEQ) fait peu référence au raisonnement scientifique dans la section sur la science et technologie (Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, 2007). Pour la compétence mathématique « Déployer un raisonnement mathématique », toute une gamme de raisonnements est sollicitée : le raisonnement inductif, le raisonnement par analogie, le raisonnement déductif et la réfutation à l'aide d'un contre-exemple. On y explique que « Le raisonnement mathématique sous-tend une démarche heuristique qui est souvent non explicite; elle se passe dans

la tête. Il joue un rôle fondamental dans le développement intellectuel de l'élève, notamment en ce qui a trait à sa capacité d'analyse. » Toute cette compétence mathématique est axée sur le raisonnement, peu importe son type, de même que ses composantes.

Au contraire, dans l'ensemble des trois compétences de science et technologie, il n'est fait mention du raisonnement qu'à quelques reprises, sans explications ou quelque valorisation que ce soit. Le PFEQ suggère des stratégies à adopter par l'élève, comme « Faire appel à divers modes de raisonnement (ex. inférer, induire, déduire, comparer, classifier, sérier) pour traiter les informations » ou « Reasonner par analogie pour traiter des informations et adapter des connaissances scientifiques et technologiques ». Cependant, le raisonnement, peu importe le type, n'est jamais au centre d'une compétence ou de ses composantes.

La première compétence de science et technologie est « Chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique » et réfère aux activités d'expérimentation et de conception. C'est au cœur même de cette compétence qu'on aurait dû trouver des références au raisonnement scientifique, puisque parmi la gamme d'habiletés intellectuelles se référant au raisonnement scientifique, plusieurs sont en lien direct avec la méthode expérimentale.

6.4. Implications didactiques

L'école québécoise, donc le Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, doit valoriser le développement du raisonnement scientifique par les cours de sciences et technologie et ce, dès le début de la scolarisation. Plusieurs habiletés nécessitent un enseignement et un entraînement comme le contrôle des variables, la coordination de théorie et d'évidences, la production et la sélection d'hypothèse et les stratégies de résolution de problème. Ces habiletés ne sont que quelques exemples, en plus des divers types de raisonnement utilisés lors du raisonnement scientifique.

Les habiletés de raisonnement scientifique développées au primaire pourront poursuivre leur développement au secondaire et même plus tard, dans l'espoir que chaque élève du système scolaire québécois atteigne un niveau de développement cognitif optimal. L'atteinte d'un tel objectif servirait à toute une société, puisque les habiletés de raisonnement scientifique sont réutilisables dans toutes les sphères de la vie.

7. Références

7. Références

- Astolfi, J-P, É. Darot, Y. Ginsburger-Vogel & J. Toussaint. (1997) *Mots-clés de la didactique des sciences. Repères, définitions, bibliographie*. Bruxelles : DeBoeck.
- Bardin, L. (1989) *L'analyse de contenu*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Bearman, C.R., Ball, L.J. & Ormerod, T.C. (2002). *An exploration of real-world analogical problem solving in novices*. Proceedings of the 24th Annual Conference of the Cognitive Science Society, 101-106. Mahwah: LEA.
- Beeth, M. & P. Hewson. (1997) *Learning to Learn Science : Instruction that Supports conceptual Change*. Article présenté à Annual Meeting of the European Science Education Research Association (Rome, Italy, September 2-6, 1997).
- Blanchette, I & K. Dunbar. (2000). How Analogies are Generated : The roles of Structural and Superficial Similarity. *Memory & Cognition*, 28, 108-124.
- Brown, D. & J. Clement. (1989). Overcoming misconcepts via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory models construction. *Instructional Science*, 18. pp. 237-261.
- Capon, N. & D. Kuhn. (2004). What's So Good About Problem-Based Learning ? *Cognition and Instruction*, 22(1), 61-79.
- Chi, M. (2005). Commonsense Conceptions of Emergent Processes: Why Some Misconceptions Are Robust. *The Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161-199.
- Chi, M. & S. Ohlsson. (2005). Complex Declarative Learning. In: K. Holyoak et R. Morrison (Dir), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning*. New York : Cambridge University Press.

- Dekkers, P. & G. D. Thijs. (1997). Making Productive Use of Students' Initial Conceptions in Developing the Concept of Force. *Science Education*, 82(1), 31-51.
- diSessa, A. (1983). Phenomenology and the Evolution of Intuition. In D. Gentner et A. Stevens (Dir), *Mental Models* (p.15-33). Hillsdale (N.J.) : Lawrence Erlbaum Associates.
- diSessa, A. (1988). Knowledge in pieces. In Forman G. et Putfall P. (Dir), *Constructivism in the Computer Age*. Hillsdale (N.J.) : Lawrence Erlbaum Associates.
- Dunbar, K. (1999). Scientific Thinking and its development. In R. Wilson et F. Keil (Eds.) *The MIT Encyclopedia of Cognitive Science*. (p 730-733).Cambridge, MA: MIT press.
- Dunbar, K. (2000). What scientific thinking reveals about the nature of cognition. In K. Crowley, Schunn, C.D., et Okada, T. (Dir), *Designing for Science: Implications from Everyday, Classroom, and Professional Settings* (p. 47-72). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Dunbar, K. (2001). The Analogical Paradox: Why analogy Is So Easy In Naturalistic Settings, Yet So Difficult In The Psychological Laboratory, In D. Gentner, K. J. Holyoak & B. Kokinov (Dir), *The analogical mind: Perspectives from Cognitive Science* (p.313-334). MIT Press, Cambridge: MA.
- Dunbar, K & J. Fugelsang. (2005). Scientific Thinking and Reasoning. In : K. Holyoak et R. Morrison (Dir), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (p.705-725). New York : Cambridge University Press.
- Ebersbach, M. & W. Resing. (2007). Shedding new light on and old problem : The estimation of shadow sizes in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 97, 265-285.
- Echevarria, M. (2003). Anomalies as a Catalyst for Middle School Students' Knowledge Construction and Scientific Reasoning During Science Inquiry. *Journal of Educational Psychology*, 95(2), 357-374.

- Eshach, H. (2003) Small-group interview-based discussions about diffused shadow. *Journal of Science Education and Technology*, 12(3), 261-275.
- Fabre, M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris: Presses universitaires de France.
- Fabre, M. (2005). Deux sources de l'épistémologie des problèmes: Dewey et Bachelard. *Les sciences de l'éducation. Pour l'ère nouvelle*. 38(3), 53-67.
- Galili, I & A. Hazan. (2000) Learners' knowledge in optics : interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22(1), 57-88.
- Gall, J, Gall, M.D. & W. R. Borg. (2005). *Applying Educational Research : A practical guide*. 5th edition. Boston: Allyn and Bacon.
- Hardy, M., Jonen, A., Moller, K. & Stern, E. (2006). Effects of Instructional Support Within Constructivist Learning Environments for Elementary school Students' Understanding of Floating and Sinking. *Journal of Educational Psychology*, 98(2), 307-326.
- Hewson, P. & J. Lemberger. (1999). Status and Subscribing : A Response to Schwitzgebel. *Science & Education*, 8, 507-523.
- Hogan, K. (1999) Thinking Aloud Together: A Test of an Intervention to Foster Students' Collaborative Scientific Reasoning. *Journal of Research in Science Education*, 36(10), 1085-1109.
- Hogan, K., B. Nastasi & M. Pressley. (2000). Discourse Patterns and Collaborative Scientific Reasoning in Peer and Teacher-Guided Discussions. *Cognition and Instruction*, 17(4), 379-432.
- Holyoak, K. (2005) Analogy, in : K. Holyoak et R. Morrison (Eds), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (p.117-142). New York : Cambridge University Press.
- Hung, W. & D. Jonassen. (2006) Conceptual understanding of Causal Reasoning in Physics. *International Journal of Science Education*, 28(3), 1601-1621.

- Inhelder, B. & J. Piaget. (1955) *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent; Essai sur la construction des structures opératoires formelles*. Paris: Presses universitaires de France.
- Joannert, P. (Dir) (2001) Un recadrage des didactiques contemporaines des disciplines, In *Les didactiques des disciplines, un débat contemporain* (p.29-57). Ste-Foy : Presses de l'Université du Québec.
- Jonnaert, P. (2004). Action et compétence, situation et problématisation. In E. Vellas et M. Fabre (Dir). *Situations de formation et problématisation* (p.31-40). Bruxelles : DeBoeck.
- Jonassen, D. (1997) Instructional Design Models for Well-Structured and Ill-Structured Problem-Solving Learning Outcomes, *Educational Technology Research and Development* , 45(1), 65-94.
- Joshua, S. & J.-J. Dupin. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF.
- Karsenti, T. & L. Savoie-Zajc. (2004) *La recherche en éducation : étapes et approches*. Sherbrooke : Éditions du CRP.
- Kawulich, B. (2005) Participant observation as a data collection method. *Forum : Qualitative Social Research (On-line journal)*, 6 (2), Art. 43. Disponible au <http://www.qualitative-research.net/fqs-texte/2-05/05-2-43-e.html>. Date d'accès: 10/04/07
- Klaczynski, P. & G. Narasimham. (1998). Representations as Mediators of Adolescent Deductive Reasoning. *Developmental Psychology*, 34(5), 865-881.
- Klaczynski, P. (2000). Motivated Scientific Reasoning Biases, Epistemological Beliefs, and Theory Polarization: A Two-Process Approach to Adolescent Cognition. *Child Development*, 71(5), 1347-1366.
- Klaczynski, P. (2001). Analytic and Heuristic Processing Influences on Adolescent Reasoning and Decision-Making, *Child Development*, 72(3), 844-861.
- Klahr, D. & K. Dunbar. (1988). Dual search space during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.

- Koslowski, B. (1996). *Theory and Evidence : The Development of Scientific Reasoning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kuhn, D., E. Amsel & M. O'Loughlin. (1988). *The Development of Scientific Thinking Skills*. San Diego: Academic Press.
- Kuhn, D. (2001). How do people know ? *Psychological Science*, 12(1), 1-8.
- Kuhn, D. & S. Franklin. (2006a). The second decade : What develops (and how), In W. Damon & R. Lerner (Editors-in-chief), D. Kuhn et R. Siegler (Dir), *Handbook of child psychology : Vol 2. Cognition, perception, and language*. (p. 953-993) Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Kuhn, D. (2006b). Do Cognitive Changes Accompany Developments in the Adolescent Brain ? *Perspectives on Psychological Science*, 1(1), 159-167.
- Kwon, Y. & A. E. Lawson. (2000). Linking Brain Growth with the Development of Scientific Reasoning Ability and Conceptual Change during Adolescence. *Journal of Research in Science Education*, 37(1), 44-62.
- Laurin, S & L. Gaudreau. (2001) De la didactique aux didactiques : dialogue sur des enjeux éducatifs. In P. Jonnaert et S. Laurin (Dir), *Les didactiques des disciplines, un débat contemporain* (p. 9-28). Ste-Foy : Presses de l'Université du Québec.
- Markovits, H & P. Barrouillet. (2002). The Development of Conditional Reasoning : A Mental Model Account. *Developmental Review*, 22, 5-36.
- Markovits, H. (2004). The development of deductive reasoning. In R. J. Sternberg et J. P. Leighton (Dir). *The Nature of Reasoning*, Cambridge University Press (p. 313-338).
- Métioui, A., C. Cyr, N. Gagné & C. Brassard. (2002) Évolution des conceptions des enseignants en formation sur la lumière à la suite d'activités didactiques constructivistes. In R. Toussaint (Dir) *Changement conceptuel et apprentissage des sciences, recherches et pratiques* (p.135-156). Outremont: Éditions Logiques.

- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2007) *Programme de formation de l'école québécoise; Enseignement secondaire, deuxième cycle*. Québec : Gouvernement du Québec.
- Mucchielli, R. (2006). *L'analyse de contenu : des documents et des communications*. Issy-les-Moulineaux: ESF Éditeur.
- Nersessian, N. (2008). Mental Modeling in Conceptual Change. In S. Vosniadou (Dir) *International Handbook of Research on Conceptual Change* (p.391-416). New York: Routledge
- Novick, L. (1991). *The Role of Expertise in Analogical Problem Solving*. Paper presented at the Biennial Meeting of the Society for Research in Child development, Seattle, WA, 18-20 Avril 1991.
- Orange, C. (2006). Problématisation, savoirs et apprentissages en sciences. In E. Vellas et M. Fabre (Dir). *Situations de formation et problématisation* (p.75-90). Bruxelles : DeBoeck.
- Overton, W, S. Ward, I. Noveck, J. Black & D. O'Brien. (1987). Form and Content in the Development of Deductive Reasoning. *Developmental Psychology*, 23(1), 22-30.
- Paquay, L., M. Crahay & J.-M. De Ketele. (2006). *L'analyse qualitative en éducation : Des pratiques de recherche aux critères de qualité*. Bruxelles : De Boeck.
- Parnafes, O. & A. diSessa. (2004). Relations between types of reasoning and computational representations. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 9, 251-280.
- Penner, D. & D. Klahr. (1996) The Interaction of Domain-Specific Knowledge and Domain-General Discovery Strategies: A Study with Sinking Objects. *Child Development*, 67, 2709-2727.
- Pettier, J-C. (2004). *Aider tous les élèves à problématiser: quelques points de repères*. Savoirs CDI: Des ressources professionnelles pour les enseignants-

- documentalistes.<http://savoirscdi.cndp.fr/pedago/problematique/Pettier/Pettier.htm> Date du dernier accès: 09/08/07.
- Pressley, M & C. McCormick. (2007). *Child and Adolescent Development for Educators*. New York: The Guilford Press.
- Pugh, K. (2001). *Investigating Conceptual Change from the Vygotskian and Deweyan Perspectives*. Article présenté à National Association for Research in Science Teaching Conference, St-Louis, MO, Mars 2001.
- Raghavan, K., Sartoris, M., & Glaser, R. (1998). Why does it go up?: The impact of the MARS curriculum as revealed through changes in student explanations of a helium balloon. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 547-567.
- Richland, L., Morrison, R & K. Holyoak. (2006). Children's development of analogical reasoning: Insights from scene analogy problems. *Journal of experimental Child Psychology*, 94, 249-273.
- Samson, G. R. Toussaint & R. Pallascio. (2004) Instruments de collecte et outils d'analyse : un défi pour évaluer la capacité à transférer. *Recherches Qualitatives*, 24, 84-103.
- Schauble, L., R. Glaser, K. Raghavan & M. Reiner. (1991). Causal Models and Experimentation Strategies in Scientific Reasoning. *The Journal of the Learning Sciences*. 1(2), 201-238.
- Schauble, L. (1996). The development of scientific reasoning in knowledge-rich contexts. *Developmental Psychology*, 32, 102-119.
- Shin, N., D. Jonassen & S. Mc Gee. (2003). Predictors of Well-Structured and Ill-Structured Problem Solving in an Astronomy Simulation. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(1), 6-33.
- Simon, H. A. (1957). *Models of man: social and rational*. New York: Wiley.
- Song, H-D., B. Grabowski, T. Kosvalka & W. Harkness. (2006). Patterns of instructional-design factors prompting reflective thinking in middle-school and college level problem-based learning environments. *Instructional Science*, 34, 63-87.

- Steinberg, S. (2005). Cognitive and affective development in adolescence. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 9(2), 69-74.
- Toussaint, R. (Dir) (2002). «Dis, Archimède! Comment ça flotte?» Changements conceptuels et apprentissage de systèmes complexes. In *Changement conceptuel et apprentissage des sciences, recherches et pratiques* (p.31-46). Outremont : Éditions Logiques.
- Toussaint, R. & Lavergne, M.-H. (2005). Problèmes complexes flous en environnement et pensée réflexive d'élèves du secondaire. *Aster. Recherches en didactique des sciences expérimentales*, 40 :39-66
- Tschirgi, J. E. (1980). Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child Development*, 51, 1-10.
- von Aufschnaiter, C. (2006). *Exploring the processes of students' development of physics concepts*. Paper presented at the conference of NARST, San Francisco, USA, April 2006.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and Modeling the Process of Conceptual Change. *Learning and Instruction* (Special Issue on Conceptual Change), 4, 45-69
- Vosniadou, S., D. Kayser, M. Champesme, C. Ioannides & A. Dimitracopoulou. (1999) Modelling Elementary School Students' Solution of Mechanics Problems, In D. Kayser et S. Vosniadou (Dir) *Modelling Changes in Understanding: Case Studies in Physical Reasoning* (p.61-105), Oxford: Pergamon.
- Vosniadou, S., C. Ioannides, A. Dimitrakopoulou & E. Papademetriou. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11, 381-419.
- Vosniadou, S. & V. Kollias. (2005) Using Collaborative, Computer-Supported, Model Building to Promote Conceptual Change in Science. *Computers and Education*, 45(3), 316-336.

- Ward, S. & W. Overton. (1990) Semantic Familiarity, Relevance and the Development of Deductive Reasoning. *Developmental Psychology*, 26(3), 488-493.
- Watters, J. & L. English. (1995) Children's application of simultaneous and successive processing and inductive reasoning problems: implications for developing scientific reasoning skills. *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (7), 699- 714.
- Wegerif, R., N. Mercer et L. Dawes. (1999) From social interaction to individual reasoning : an empirical investigation of a possible socio-cultural model of cognitive development. *Learning and Instruction*, 9, 493-516.
- Zimmerman, C. (2000). The Development of Scientific Reasoning Skills, In *Developmental Review*, 20, 99-149.
- Zimmerman, C. (2005). *The development of scientific reasoning: What psychologists contribute to an understanding of elementary science learning?* National Research Council's Board of Science Education, USA.
- Zimmerman, C. (2007) The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27, 172-223.

8. Appendices

8. Appendices

Appendice I : Questionnaire sur de la flottaison

Appendice II : Questionnaire sur les comportements de la lumière

Appendice III : Formulaire de consentement parental

Appendice IV : Formulaire d'autorisation

Appendice I : Questionnaire sur de la flottaison

**Raisonnement scientifique d'élèves du secondaire :
Situations-problèmes et cognition-située**

Questionnaire individuel
La flottaison

Date : _____

Nom : _____

Pseudonyme : _____

Groupe : _____

Appendice II : Questionnaire sur les comportements de la lumière

Raisonnement scientifique d'élèves du secondaire :
Situation- problème et cognition-située

Questionnaire individuel

La lumière

Date : _____

Nom : _____ Âge : _____

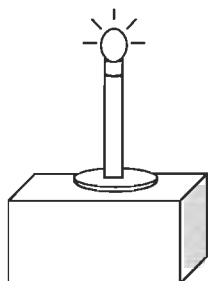
Groupe : _____

Mise en situation 3 – Propagation de la lumière

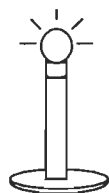
Les schémas suivants représentent une lampe allumée, un ou deux paravents troués et un mur.

Pour chacun des schémas, définissez par un ou des traits quelle zone sera éclairée par la lumière de la lampe sur le mur. Justifiez votre dessin par des explications.

Situation A

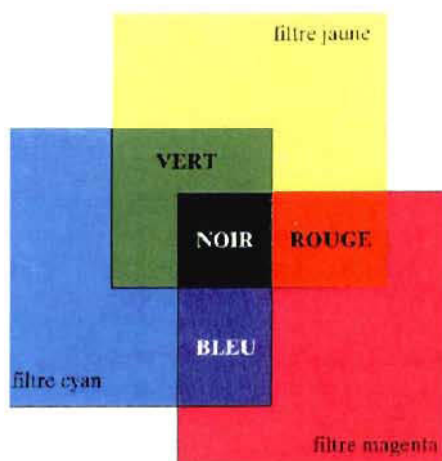


Situation B



Mise en situation 4 - Couleur

Le schéma ci-dessous illustre le phénomène de la **lumière** sur laquelle on applique différents filtres colorés.



Comment expliquez-vous le fait que plusieurs filtres superposés produisent la couleur noire?

Comment expliquer le fait que la lumière blanche, sous un ou deux filtres, puisse prendre des couleurs différentes? Justifiez vos réponses par *des explications*.

Mise en situation 5 – Croissant de Lune

Si vous voyez ce croissant de Lune le soir dans le ciel, où pourriez-vous situer le Soleil, la Terre et la Lune sur un schéma? Réaliser un schéma pour expliquer la position du Soleil, de la Terre et de la Lune, ainsi que votre position d'observateur sur la Terre. Justifiez votre dessin par des explications.



Schéma

Justifications

Appendice III : Formulaire de consentement parental

Le 1^{er} avril 2007

Formulaire de consentement parental Participation à une recherche scientifique universitaire

Titre : *Le raisonnement scientifique des adolescents de quatrième secondaire.
Changement conceptuel en contexte de situation-problème sur les phénomènes
physiques de la flottaison et de la lumière.*

Chercheur : Marianne Durocher (Enseignante en sciences à l'Académie les Estacades)
Étudiante de maîtrise en sciences de l'éducation à l'Université du Québec à
Trois-Rivières

Directeur de recherche : Rodolphe Toussaint, Université du Québec à Trois-Rivières

Aux parents des élèves concernés

La présente est pour demander votre autorisation pour la participation de votre enfant à une recherche universitaire. Les élèves seront placés en situations-problèmes pour favoriser l'utilisation d'habiletés de raisonnement scientifique face à des phénomènes physiques. L'objectif principal de la recherche est d'investiguer les habiletés de raisonnement scientifique utilisées. La recherche sera effectuée dans le cadre du cours de sciences physiques 436. Cette recherche ne constitue pas une évaluation des objectifs du programme de sciences physiques, puisque les concepts scientifiques étudiés ne sont pas reliés au programme (la propagation de la lumière et la flottaison). Deux (2) heures seront consacrées à cette recherche d'ici la fin de l'année scolaire en cours. Des traces écrites (questionnaires à réponses ouvertes) et audio (conversations entre 2 élèves en laboratoire) seront amassées lors de la recherche.

Tous les élèves participeront aux activités, mais peuvent refuser de voir leurs données analysées. Je m'engage à protéger l'anonymat des informations recueillies puisque seulement les données anonymisées seront conservées, et détruites au plus tard le 31 décembre 2007. Cette recherche est approuvée par le comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Un certificat portant le numéro CER-07-121-04.01-A a été émis le 29 mars 2007 pour cette recherche. Pour toute question ou plainte d'ordre éthique concernant cette recherche, vous pouvez communiquer avec la secrétaire du comité d'éthique de la recherche de l'UQTR, Mme Fabiola Gagnon, par téléphone 819 376-5011 poste 2136 ou par courriel fabiola.gagnon@uqtr.ca. Vous pouvez aussi contacter le professeur responsable de cette recherche, M. Rodolphe Toussaint par téléphone 819 376-5011 poste 3600 ou par courriel rodolphe.toussaint@uqtr.ca.

Veuillez agréer, monsieur, madame, mes salutations les plus cordiales,

J'accepte de participer à cette recherche

Nom de l'élève : _____

Signature de l'élève : _____

Date : _____

Nom du parent : _____

Signature du parent : _____

Date : _____

Marianne Durocher,
Chercheure responsable de la recherche

Appendice IV : Formulaire d'autorisation

Le 1^{er} avril 2007**Formulaire d'autorisation**
Réalisation d'une recherche scientifique universitaire

Titre : *Le raisonnement scientifique des adolescents de quatrième secondaire. Changement conceptuel en contexte de situation-problème sur les phénomènes physiques de la flottaison et de la lumière.*

Chercheur : Marianne Durocher (Enseignante en sciences à l'Académie les Estacades),
Étudiante de maîtrise en sciences de l'éducation à l'Université du Québec
à Trois-Rivières

Directeur de recherche : Rodolphe Toussaint, Université du Québec à Trois-Rivières

Madame Marthe Fortin,
Directrice de l'Académie les Estacades

La présente est pour demander l'autorisation pour la participation d'élèves des groupes 413 et 411 de l'Académie les Estacades à une recherche universitaire. Les élèves seront placés en situations-problèmes pour favoriser l'utilisation d'habiletés de raisonnement scientifique face à des phénomènes physiques. L'objectif principal de la recherche est d'investiguer les habiletés de raisonnement scientifique utilisées. La recherche sera effectuée dans le cadre du cours de sciences physiques 436. En aucun temps cette recherche ne constitue une évaluation des objectifs du programme de sciences physiques, puisque les concepts scientifiques étudiés ne sont pas reliés au programme (la propagation de la lumière et la flottaison). 2 heures par groupe seront consacrées à cette recherche d'ici la fin de l'année scolaire en cours. Des traces écrites (questionnaires à questions ouvertes) et audio (conversations entre 2 élèves en laboratoire) seront amassées lors de la recherche.

Tous les élèves participeront aux activités, mais peuvent refuser de voir leurs données analysées. Je m'engage à protéger l'anonymat des informations recueillies puisque seulement les données anonymisées seront conservées, et détruites au plus tard le 31 décembre 2007. Cette recherche est approuvée par le comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Un certificat portant le numéro CER-07-121-04.01-A a été émis le 29 mars 2007 pour cette recherche. Pour toute question ou plainte d'ordre éthique concernant cette recherche, vous pouvez communiquer avec la secrétaire du comité d'éthique de la recherche de l'UQTR, Mme Fabiola Gagnon, par téléphone 819 376-5011 poste 2136 ou par courriel fabiola.gagnon@uqtr.ca. Vous pouvez aussi contacter le professeur responsable de cette recherche, M. Rodolphe Toussaint par téléphone 819 376-5011 poste 3600 ou par courriel rodolphe.toussaint@uqtr.ca.

Veillez agréer, madame, mes salutations les plus cordiales,

Marianne Durocher,
Chercheure responsable de la recherche