

Table des matières

Sommaire	ii
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures.....	x
Remerciements.....	xii
Introduction.....	1
Chapitre 1.....	7
La problématique	7
1.1 L'intérêt des élèves pour la science et la technologie : état de la situation	9
1.2 La complexité de l'enseignement et de l'apprentissage de la S&T : l'articulation entre l'abstrait et le concret	10
1.3 Les modèles : construction d'une représentation.....	13
1.4 L'enseignement et l'apprentissage de la S&T : les conceptions des élèves	15
1.5 L'enseignement et l'apprentissage de la S&T : le recours aux modèles	18
1.6 La démarche de modélisation : processus de construction d'un modèle.....	21
1.7 Les questions générales de recherche	26
Chapitre 2.....	29
Le cadre conceptuel	29
2.1 L'abstrait, le concret et l'abstraction	30
2.2 Le concept, la conception, la représentation et la perception	31
2.2.1 Le concept.....	31

2.2.2 La conception, la représentation et la perception	32
2.3 Les modèles	34
2.3.1 Les rôles et les fonctions des modèles	35
2.3.2 Les types de modèles	37
2.3.3 Les caractéristiques des modèles	38
2.4 La démarche de modélisation	41
2.5 Les objectifs de la recherche.....	44
Chapitre 3.....	46
La méthodologie	46
3.1 Le choix du devis méthodologique	47
3.2 Le recrutement des participants et la SAE sélectionnée	49
3.3 Les méthodes de collecte des données.....	52
3.3.1 Les entretiens semi-dirigés	54
3.3.2 Les observations participantes	55
3.3.3 Les notes de terrain	55
3.3.4 Le cahier de conception	56
3.4 L'analyse et le traitement des données	57
Chapitre 4.....	60
Les résultats, l'analyse et l'interprétation	60
4.1 Le portrait d'Olivier.....	61
4.1.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T....	62
4.1.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T	62

4.2 Le portrait d'Alexandra	65
4.2.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T....	66
4.2.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T	67
4.3 Le portrait de Charles	70
4.3.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T....	70
4.3.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T	70
4.4 Le portrait de Jade.....	72
4.4.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T....	72
4.4.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T	72
4.5 Le portrait de Marc-Antoine	75
4.5.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T....	75
4.5.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T	75
4.6 Le portrait de Marie-Ève.....	77
4.6.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T....	78
4.6.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T	78
4.7 Le portrait de Camille	81
4.7.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T....	81
4.7.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T	82
4.8 Le portrait de Julien	83
4.8.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T....	83
4.8.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T	83
4.9 Le portrait de JérémY	85

4.9.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T....	85
4.9.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T	86
4.10 L'analyse et l'interprétation des résultats	87
4.10.1 L'analyse de la perception des participants à l'égard des modèles et de la démarche de modélisation en S&T.....	87
4.10.2 L'analyse des contributions potentielles des modèles dans l'appréhension de concepts particulièrement abstraits en S&T.....	92
Chapitre 5.....	96
La discussion et la conclusion	96
5.1 La discussion.....	97
5.1.1 L'articulation entre l'abstrait et le concret.....	97
5.1.2 Les modèles et la démarche de modélisation dans le PFEQ.....	99
5.1.3 Les modèles et la démarche de modélisation dans l'enseignement et dans l'apprentissage des S&T au secondaire	104
5.1.4 Un retour sur les objectifs de recherche.....	106
5.1.5 Les retombées et les recommandations	106
5.2 La conclusion.....	108
5.2.1 Un retour sur les principaux résultats de cette recherche	109
5.2.2 Les limites.....	109
5.2.3 Les pistes de réflexion	111
Références.....	114
Appendice A	122

Formulaire d'information et de consentement.....	122
Appendice B	128
Certificat d'éthique de la recherche	128
Appendice C	130
Canevas des entretiens semi-dirigés	130
Appendice D	136
Extrait du cahier de notes de cours « Alternance jour et nuit, alternance des saisons » (p. 2).....	136

Liste des tableaux

Tableaux

1. Les modèles (définitions, rôles et fonctions) selon les participants..... 89
2. La compétence 1 du PFEQ (MELS, 2007a, p. 277) 102
3. La compétence 2 du PFEQ (MELS, 2007a, p. 279) 103

Liste des figures

Figures

1. Représentation du système solaire	17
2. Schéma illustrant les étapes d'une investigation scientifique et d'une conception technologique selon le PFEQ (MELS, 2007a)	23
3. Les quatre étapes de la démarche de modélisation	44
4. Extrait du cahier de conception d'Olivier (p. 4)	63
5. Extrait du cahier de conception d'Olivier (p. 7)	64
6. Extrait du cahier de conception d'Olivier (p. 6)	65
7. Extrait du cahier de conception d'Alexandra (p. 4)	68
8. Extrait du cahier de conception d'Alexandra (p. 6)	69
9. Extrait du cahier de conception de Charles (p. 4)	71
10. Extrait du cahier de conception de Charles (p. 6)	71
11. Extrait du cahier de conception de Jade (p. 4)	74
12. Extrait du cahier de conception de Jade (p. 6)	74
13. Extrait du cahier de conception de Marc-Antoine (p. 4)	76
14. Extrait du cahier de conception de Marc-Antoine (p. 6)	77
15. Extrait du cahier de conception de Marie-Ève (p. 6)	79
16. Extrait du cahier de conception de Marie-Ève (p. 4)	80
17. Extrait du cahier de conception de Camille (p. 4)	82
18. Extrait du cahier de conception de Julien (p. 4)	84
19. Extrait du cahier de conception de Julien (p. 6)	85

20. Extrait du cahier de conception de Jérémy (p. 4)	86
21. Extrait du cahier de conception d'Olivier (p. 7)	91
22. Trois profils de la contribution potentielle des modèles dans l'appréhension de concepts	95

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier chaleureusement mon directeur de recherche Ghislain Samson. Ses encouragements, son soutien et ses précieux conseils m'ont permis de constamment me dépasser, et ce, tout au long de mon parcours à la maîtrise. Merci pour vos rétroactions rapides et vos commentaires constructifs.

Je souhaite également remercier Emmanuelle Arousseau pour son expertise dans le domaine et ses recommandations. Vos travaux ont été une source d'inspiration pour moi. Merci de m'avoir appuyée dans l'avancement de ce projet.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance auprès des neuf élèves participants pour leur temps et leur contribution à la réalisation de cette recherche. Merci à leur enseignante de science et technologie pour son accueil et sa collaboration.

Enfin, je remercie ma famille, mon conjoint et mes amis de m'avoir supportée et épaulée durant mon parcours universitaire. Vos encouragements et votre soutien m'ont permis de persévérer tout au long de cette aventure.

Introduction

La science et la technologie (S&T) contribue à l'évolution de nos sociétés tant au niveau des connaissances que des progrès techniques et technologiques. À travers divers domaines, dont l'ingénierie, la santé et l'environnement, la S&T vise à décrire et à expliquer les phénomènes qui nous entourent (Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport [MELS], 2007a). Par conséquent, il s'avère nécessaire que le milieu scolaire mise sur le développement d'une culture scientifique et technologique de base pour que les élèves appréhendent le monde dans lequel nous vivons (MELS, 2007a). Selon le MELS (2007b), l'enseignement de la S&T au primaire et au secondaire devrait favoriser l'émergence de cette culture afin de permettre aux élèves de développer leur esprit critique, le raisonnement logique et la rigueur : « Les activités scientifiques et technologiques sollicitent la curiosité, l'imagination, le désir d'explorer, le plaisir d'expérimenter et de découvrir tout autant que les connaissances et le besoin de comprendre, d'expliquer, de créer et d'exécuter » (p. 2). C'est par l'entremise de la résolution de problème et des différentes démarches que les élèves font appel à des stratégies, des techniques et des attitudes pour développer certaines compétences. « Apprendre à recourir à ces démarches et à les articuler avec pertinence permet de mieux comprendre la nature de l'activité scientifique et technologique » (MELS, 2007b, p. 12).

Néanmoins, plusieurs élèves perçoivent cette discipline comme étant complexe et difficile (Johnstone, 1991; Johsua et Dupin, 1989; Legendre, 1994). L'enseignement et

l'apprentissage en S&T peuvent s'avérer ardu, plus particulièrement lorsqu'il s'agit de concepts abstraits (Martinand, 1992). Ceci implique que certains élèves éprouvent des difficultés de compréhension, car ces concepts ne sont pas directement rattachés à une réalité physique concrète. Nous pouvons citer en exemple quelques concepts dont les moles et l'hydrolyse (Sirhan, 2007; Stieff, Scopelitis, Lira et Desutter, 2016) ainsi que la gravité (Martinand, 1992) et la physique mécanique (Robardet, 1995). De plus, certains concepts s'avèrent difficilement observables par une expérimentation directe (Bodur et Guichard, 2006; Chastenay, 2017; Chemin, 2004) comme c'est la cas pour les phénomènes astronomiques (l'alternance du jour et de la nuit, les phases de la Lune, le changement de saisons, la formation des éclipses, etc.) (Chastenay, 2017; Chemin, 2004) et les phénomènes biologiques (les muscles impliqués dans la flexion et l'extension des membres, la digestion, la circulation sanguine, etc.) (Bodur et Guichard, 2006; Champsaur et Ménager, 2013). Dans ce cas, le recours aux modèles peut s'avérer pertinent pour donner du sens à ces concepts particulièrement abstraits en les représentant sous forme de dessin, d'équation, de maquette, de carte conceptuelle ou autres (MELS, 2007b). En fait, les modèles correspondent à des outils pour penser qui permettent de créer des liens entre la réalité concrète et le concept abstrait (Aurousseau, 2017; Martinand, 1992; Scheidecker-Chevalier et Laporte, 1999).

La présente étude porte sur la compréhension d'élèves de première secondaire à l'égard de certains concepts particulièrement abstraits en S&T. Afin de décrire leur perception et d'expliquer les contributions potentielles des modèles dans l'appréhension

des concepts, ces élèves devront résoudre un problème au cours d'une situation d'apprentissage et d'évaluation (SAE) dans laquelle ils construisent un modèle en trois dimensions pour représenter les mouvements entre le Soleil, la Terre et la Lune.

Ce mémoire comprend cinq chapitres. Le premier chapitre présente la problématique de cette recherche, nous permettant de dresser un portrait global de la situation. Nous commençons par une mise en contexte de l'intérêt des élèves pour la S&T, puis abordons les difficultés rencontrées par ceux-ci dans l'apprentissage et la compréhension de certains concepts scientifiques et technologiques. Ces difficultés provenant, en partie, de la nature même des savoirs (Johnstone, 1991; Sirhan, 2007) nous amènent à envisager l'utilisation de modèles pour représenter des phénomènes en S&T afin de donner du sens aux concepts particulièrement abstraits (Treagust et Harrison, 1999), et ce, en établissant des connexions entre l'observation et l'explication scientifique (Treagust, Chittleborough et Mamiala, 2002). De plus, une section porte sur le rôle des conceptions initiales des élèves pour tenter d'expliquer de manière intuitive des phénomènes scientifiques et technologiques. Ensuite, nous expliquons la place de la démarche de modélisation dans le Programme de formation de l'école québécoise (PFEQ). Le premier chapitre de ce mémoire se termine par la présentation des questions générales de la recherche. La pertinence sociale et la pertinence scientifique de cette recherche sont abordées à travers le chapitre portant sur la problématique.

Le deuxième chapitre expose le cadre conceptuel dans lequel nous présentons les

concepts clés de cette recherche. Nous définissons le champ théorique (abstrait) et le champ expérimental (concret) en plus de leur médiateur, la démarche de modélisation. Nous apportons ensuite une nuance au terme « conception ». D'une part, il renvoie aux représentations mentales et aux conceptions initiales des élèves. D'autre part, il vise la construction d'un modèle, soit une maquette en trois dimensions dans notre cas. Une définition des termes concept, représentation et perception contribue à cerner les fondements de cette recherche. Nous expliquons les rôles, les fonctions, les caractéristiques et les types de modèles existants. La présentation des objectifs de cette recherche clôt ce chapitre.

Le troisième chapitre se rattache au cadre méthodologique dans lequel nous présentons le devis de cette recherche qualitative de nature descriptive, interprétative et exploratoire. À cet égard, cette étude tente de décrire et de comprendre un phénomène peu documenté (Van der Maren, 1996) en établissant un portrait individualisé des élèves participants face à une situation (Fortin et Gagnon, 2016) en prenant en considération leurs interactions dans leur environnement (Karsenti et Savoie-Zajc, 2000). Les informations sont ensuite rassemblées afin d'obtenir un portrait d'ensemble. Afin de réaliser cette recherche, une enseignante issue d'une école publique de la Mauricie répond favorablement à notre demande en collaborant avec l'étudiante-chercheuse à la sélection de la SAE le *Planétaire*. Parmi les deux groupes de S&T de l'enseignante, neuf élèves de première secondaire se portent volontaire pour participer à cette recherche. Les entretiens individuels, les observations participantes, les notes de terrain et l'analyse des

cahiers de conception des élèves représentent les méthodes privilégiées pour recueillir l'expérience vécue des participants (Fortin et Gagnon, 2016). Afin de clore ce chapitre, nous expliquons la méthode d'analyse privilégiée dans cette recherche. L'analyse thématique contribue à regrouper les idées des participants par thèmes nous permettant ainsi de dégager les similitudes et les divergences des expériences vécues par chaque élève.

Le quatrième chapitre présente les résultats, leur analyse et leur interprétation. À partir des portraits dressés pour chacun des neuf participants, l'analyse nous permet de faire ressortir les principaux thèmes de cette étude (Bardin, 1989) lors de la mise en commun des résultats. De cette manière, les éléments de convergence et de divergence entre les données émergent, nous permettant ainsi de répondre aux objectifs de cette recherche. Nos résultats montrent que la construction du modèle permet aux participants d'être actifs dans leur apprentissage et de rendre le phénomène étudié plus accessible en le visualisant. À partir de nos données, trois profils de contributions potentielles du modèle émergent, soit le *changement de conception*, la *consolidation des apprentissages* et *aucune contribution*.

Le cinquième chapitre comprend la discussion et la conclusion. Les thèmes provenant de l'analyse nous permettent de répondre à nos objectifs de recherche tout en établissant des liens avec les écrits. À la lumière de nos analyses, nous recommandons aux enseignants de S&T de recourir davantage à des dispositifs favorisant la

visualisation et la manipulation en classe, d'une part, et de rendre explicite l'enseignement des modèles et de la démarche de modélisation, d'autre part. Finalement, quelques limites de l'étude sont aussi abordées de même que des perspectives de futures recherches.

Chapitre 1

La problématique

Dans ce chapitre de la problématique, nous commençons par une présentation de l'intérêt des élèves envers la science et la technologie (S&T). Le désintérêt se constate notamment par leur perception selon laquelle les S&T seraient une matière difficile (Hasni, Potvin, Belletête et Thibault, 2015). Dans certains cas, les difficultés rencontrées par les élèves font obstacles à l'apprentissage et à la compréhension de concepts particulièrement abstraits. Comme ces concepts peuvent être représentés plus concrètement en utilisant des modèles, une section de ce chapitre est consacrée à la place accordée aux modèles dans l'enseignement et dans l'apprentissage en S&T.

Néanmoins, avant de concevoir un modèle, il importe de relever les conceptions initiales des élèves, soit leurs représentations mentales du phénomène étudié (Astolfi, Peterfalvi et Verin, 2006) pour enseigner adéquatement les concepts. Bien que le recours aux modèles semble être une avenue prometteuse pour l'apprentissage de concepts particulièrement abstraits, leur compréhension épistémologique pose problème autant pour les élèves que les enseignants (Morge et Doly, 2013). Les enseignants demeurent peu ou mal outillés face à la modélisation, rendant ainsi la construction de modèles en classe peu fréquente (Aurousseau, 2017). Par la suite, nous étayons l'importance de la démarche de modélisation dans le Programme de formation de l'école québécoise (PFEQ) du Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS) du primaire au secondaire. Finalement, de cette problématique découlent les questions générales de recherche en lien avec les modèles et l'appréhension de concepts particulièrement abstraits en S&T au

secondaire.

1.1 L'intérêt des élèves pour la science et la technologie : état de la situation

La S&T apporte beaucoup dans l'évolution de la société. Que ce soit en médecine, en ingénierie ou en environnement, plusieurs recherches sont mises de l'avant pour faire progresser le monde dans lequel nous vivons. Dans le PFEQ, au premier cycle du secondaire, le principal objectif des cours de S&T est d'amener les élèves à acquérir une culture scientifique et technologique riche et diversifiée (MELS, 2007a). Bien que l'école contribue au développement de connaissances et de compétences chez l'apprenant, l'intérêt des élèves demeure un enjeu important. En effet, certains d'entre eux semblent éprouver peu d'intérêt à l'égard des S&T (Hasni *et al.*, 2015; Legendre, 1994). Une étude menée par la Chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie (CRIJEST) démontre que l'intérêt varie, en partie, en fonction de l'âge et du niveau scolaire (Hasni *et al.*, 2015). Les auteurs mentionnent que la plupart du temps, la transition entre le primaire et le secondaire est marquée par une baisse d'intérêt à l'égard de la S&T et continue de diminuer lors du passage au deuxième cycle du secondaire. Ce désintérêt s'explique en partie par la difficulté perçue de cette discipline qui s'accroît en fonction du niveau de scolarité (Hasni *et al.*, 2015). En d'autres mots, plus les élèves avancent dans leur cheminement scolaire, plus les concepts sont jugés difficiles, ce qui occasionne une baisse d'intérêt. Cependant, il ne s'agit pas du seul facteur qui

influence l'intérêt des élèves. Legendre (1994) mentionne également leurs perceptions parfois négatives à l'égard de la S&T et à propos d'eux-mêmes.

L'intérêt et la motivation à l'égard des sciences ne dépendent pas seulement de la façon plus ou moins attrayante d'enseigner ces connaissances. Elle est également reliée, d'une part, à l'image que les élèves se font de la science et de l'apprentissage des mathématiques et des sciences et, d'autre part, à l'image que les élèves se font d'eux-mêmes en tant qu'apprenants (p. 667)

Par conséquent, les enseignants du secondaire font face à certains apprenants qui manquent d'intérêt pour le domaine des S&T et qui considèrent que les concepts sont de plus en plus difficiles. Pour remédier à la situation, ils doivent trouver des stratégies et des méthodes d'enseignement qui impliquent intellectuellement leurs élèves afin de favoriser leur intérêt (Hasni *et al.*, 2015). Il nous semble utile d'explorer les causes de cette difficulté éprouvée par les apprenants face à l'apprentissage de concepts scientifiques et technologiques afin de mieux cibler les enjeux de cette recherche.

1.2 La complexité de l'enseignement et de l'apprentissage de la S&T : l'articulation entre l'abstrait et le concret

Pour certains élèves, l'apprentissage de concepts en S&T est considéré comme complexe et difficile (Legendre, 1994). Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette complexité, dont les méthodes d'enseignement (Johnstone, 1991). Selon Johnstone (1991), il faut varier les méthodes d'enseignement afin de rendre les savoirs accessibles à tous. De plus, des méthodes moins axées sur la transmission des

connaissances, comme le travail collaboratif, l'apprentissage par projet, l'investigation scientifique et technologique de même que la contextualisation, contribuent à favoriser l'intérêt des élèves (Hasni *et al.*, 2015; Potvin et Hasni, 2013).

Malgré cela, la nature même des connaissances ainsi que le vocabulaire scientifique et technologique peuvent être considérés comme des obstacles à la compréhension qui rendent l'accès au savoir difficile (Johnstone, 1991; Legendre, 1994; Sirhan, 2007). En science physique, par exemple, le lien étroit partagé avec les mathématiques et la logique peut expliquer la complexité rattachée à cette discipline (Johnsua et Dupin, 1989). Selon Johnstone (1991), la S&T est difficile à apprendre à cause de la nature des savoirs. En effet, pour caractériser un concept, les élèves vont généralement utiliser leurs sens, par exemple par l'observation et la manipulation (Johnstone, 1991). Comment feront-ils alors pour caractériser le concept d'« élément » ou de « composé » à l'aide de leurs sens? Certains concepts en S&T ne sont pas directement accessibles de manière sensorielle et s'avèrent plus abstraits (Johnstone, 1991). Dans ce cas, d'autres moyens seront nécessaires pour pallier cet écueil.

En ce qui concerne le vocabulaire, « la polysémie de mots comme révolution, lune (le nom commun), satellite ou orbite, dont la signification en contexte astronomique est différente de ce qu'elle est dans le langage usuel courant » (Chastenay, 2017, p. 78), voire dissemblable à d'autres disciplines scientifiques, peut porter à confusion. Selon Johnstone (1991), un grand nombre d'élèves (12 à 14 ans)

inverse le sens de certains mots. Cet auteur donne l'exemple du mot « contracter ». Pour la moitié des élèves interrogés, il signifie « rétrécir » tandis que pour les autres, il veut dire « grossir ».

Le Programme de formation de l'école québécoise (PFEQ) de S&T au secondaire contient des concepts particulièrement abstraits qui nécessitent une attention particulière pour une majorité d'élèves. En effet, certains concepts manquent parfois de correspondance avec le concret, ce qui rend l'accès au savoir complexe (Legendre, 1994). Gagnon (2015) souligne que les concepts particulièrement abstraits sont parfois perçus comme étant incompréhensibles surtout pour les apprenants qui manquent d'intérêt ou qui éprouvent des difficultés d'apprentissage. C'est pourquoi il faut se préoccuper de ces concepts afin de favoriser leur compréhension et, par conséquent, éviter certaines difficultés (Legendre, 1994).

Selon Martinand (1992), plusieurs études montrent que les concepts les plus abstraits demeurent ceux qui sont les moins bien assimilés par certains élèves du secondaire. L'inaccessibilité au réel concret par les sens demeure une cause importante du manque de compréhension des apprenants. Martinand (1992) donne l'exemple des concepts relatifs au vide et au mouvement (forces), qui représentent des concepts particulièrement abstraits et difficilement compris en classe. En effet, le fait de ne pas pouvoir « toucher » le vide constitue un obstacle à l'apprentissage. Puisque les concepts particulièrement abstraits représentent un défi pour les élèves, il

faut que les enseignants tentent de les rendre plus accessibles en les rattachant à une réalité physique, visuelle et concrète.

Le problème de l'articulation entre l'abstrait et le concret réside dans le lien entre le champ théorique et le champ expérimental (Aurousseau, 2017; Martinand, 2010). Le champ théorique (abstrait) comprend des objets théoriques comme des concepts, des lois et des théories, qui consistent en des constructions de l'esprit (Scheidecker-Chevalier et Laporte, 1999). Le champ expérimental (concret) se compose d'objets expérimentaux comme des protocoles et des observations, soit des réalités concrètes définies empiriquement. La conception¹ d'un modèle assure la relation entre ces deux champs. ce qui pourrait aider à la compréhension de certains concepts particulièrement abstraits (Chittleborough, Treagust et Mamiala, 2005).

1.3 Les modèles : construction d'une représentation

Certains élèves ont besoin de se représenter concrètement un phénomène afin de mieux comprendre les concepts particulièrement abstraits s'y rattachant. L'absence de représentation peut rendre l'apprentissage et la compréhension peu ou pas concrets et, par conséquent, difficiles (Gagnon, 2015; Stieff *et al.*, 2016). C'est pourquoi le recours aux modèles peut être bénéfique pour lier l'abstrait au concret

¹ Dans le cadre de cette recherche, le mot « conception » peut avoir deux significations. D'une part, il s'agit du processus de création d'une maquette en trois dimensions et, d'autre part, il s'agit des représentations mentales des élèves.

(Aurousseau, 2017). De cette manière, le concept devient plus tangible aux yeux de certains apprenants, pouvant ainsi favoriser leur compréhension (Aurousseau, 2017; Kopp et Lombard, 2012; Robardet, 1990).

En S&T, plusieurs concepts nécessitent la construction d'une représentation mentale ou concrète pour permettre l'appréhension d'un phénomène étudié (Arnoux et Finkel, 2010). Une multitude de concepts sont de nature abstraite, c'est-à-dire qu'ils ne s'inscrivent pas dans la perception sensorielle, ce qui rend leur apprentissage plus complexe. Selon Arnoux et Finkel (2010), pour apprendre, il faut construire de telles représentations. Celles-ci peuvent prendre diverses formes comme celle d'une image. Toutefois, certains élèves éprouvent de la difficulté à construire et à schématiser des concepts, c'est pourquoi il faut les aider à relever ce défi, sans quoi l'accès au savoir peut sembler hors d'atteinte (Arnoux et Finkel, 2010). Peu importe le modèle utilisé ou encore l'analogie proposée (Aurousseau, 2017), le modèle pourrait aider les apprenants à mieux comprendre en rattachant les concepts jugés abstraits à une réalité physique tangible, comme une maquette. Comme le mentionnent Sensevy et Santini (2006), « un enjeu essentiel réside dans la compréhension du passage du concept abstrait aux concepts plus concrets » (p. 167) pour appréhender des connaissances scientifiques. Ces auteurs donnent l'exemple des modèles physiques (p. ex., une maquette) qui rendent accessibles l'abstrait en recourant à un objet concret. Ainsi, ces types de modèles pourraient favoriser le passage du concept particulièrement abstrait vers le concret.

Par conséquent, les concepts particulièrement abstraits sont au cœur de notre objet d'étude en raison de leur nature. Comme les modèles permettent de lier l'expérience (concret) à la théorie (abstrait), nous avons tout avantage de les utiliser dans le cadre de cette recherche (Kopp et Lombard, 2012). De cette manière, nous envisageons de rendre plus concret et intelligible un phénomène abstrait et non directement accessible pour des élèves du premier cycle du secondaire lors de la construction d'une maquette en trois dimensions représentant les mouvements relatifs entre le Soleil, la Terre et la Lune. Les participants de cette présente étude utiliseront le modèle construit en mettant en mouvement des astres pour, dans ce cas, visualiser le phénomène.

1.4 L'enseignement et l'apprentissage de la S&T : les conceptions des élèves

En S&T, les élèves disposent, au préalable, de certaines représentations (conceptions) personnelles (Astolfi *et al.*, 2006). Les conceptions initiales sont des modèles mentaux provenant d'interactions entre l'apprenant et son environnement pour tenter d'expliquer les phénomènes qui l'entourent (Chittleborough *et al.*, 2005). « Elles correspondent au travail intellectuel qui doit être chaque fois fourni pour résoudre un problème scientifique nouveau » (Astolfi *et al.*, 2006, p. 84). Elles se distinguent toutefois des modèles conceptuels, c'est-à-dire des représentations scientifiques, car elles consistent en des perceptions personnelles et non

nécessairement basées sur des principes scientifiques ou technologiques (Chittleborough *et al.*, 2005).

Les élèves possèdent des préconceptions qui découlent de leurs expériences, de leur environnement, mais également du matériel didactique mis à leur disposition. En effet, les manuels de référence en S&T représentent des phénomènes à l'aide d'illustrations et de schémas par exemple. Potvin (2011) et Chastenay (2017) soulignent les retombées potentielles de ces illustrations et de ces schémas sur l'apprentissage des élèves, plus particulièrement sur les conceptions émergentes. Ce que nous devons retenir des écrits de Potvin (2011) est qu'une illustration ne fait pas office de réalité. À cet égard, l'enseignant doit s'assurer de discuter avec ses élèves pour comprendre les forces et les limites de cette représentation. Prenons en exemple la figure 1 qui représente le système solaire. Plusieurs limites peuvent être rapidement soulevées comme les distances qui séparent les astres (Potvin, 2011). Or, les illustrations et les schémas contenus dans les manuels scolaires peuvent parfois être mal interprétés par les apprenants engendrant ainsi des erreurs de conception.

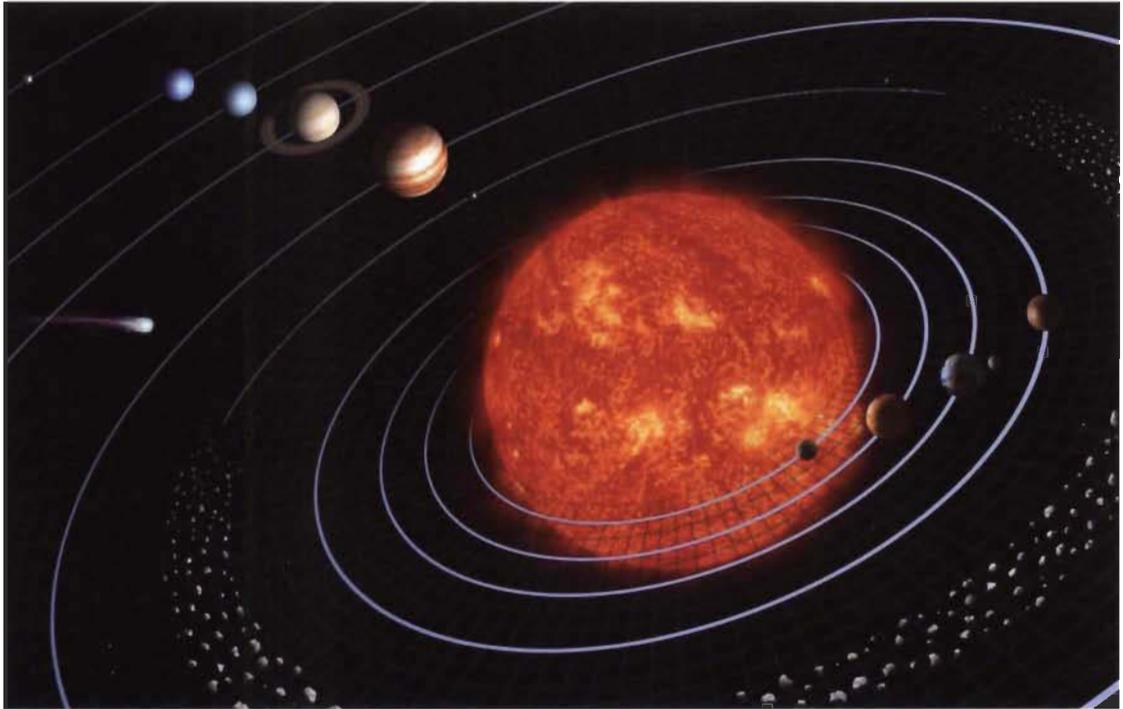


Figure 1. Représentation du système solaire²

Pour que les apprentissages scientifiques et technologiques prévalent sur les fausses conceptions des élèves, l'enseignant doit être en mesure de les relever et de les considérer pour pouvoir les faire évoluer (Potvin, 2011). « Apprendre consiste moins à ajouter des connaissances nouvelles qu'à transformer des représentations préexistantes et résistantes » (Astolfi *et al.*, 2006, p. 84). Le changement conceptuel vise ainsi à rectifier les conceptions initiales des apprenants pour faire place aux conceptions scientifiques (Potvin, 2011).

² Il s'agit d'une image libre de droit que l'on retrouve à l'adresse suivante : <https://pixabay.com/fr/système-solaire-planète-11111/>

1.5 L'enseignement et l'apprentissage de la S&T : le recours aux modèles

Les modèles permettent de représenter des concepts ou encore des phénomènes (MELS, 2007b). En S&T, les modèles sont fondamentaux en raison de leurs rôles et de leurs fonctions. En effet, selon Drouin (1998), les modèles sont des « constructions de l'esprit » mettant en relation un phénomène non directement accessible à un objet physique concret. Par exemple, nous pourrions élaborer un schéma qui met en relation les divers organes présents dans le corps humain (Drouin, 1998). Ce schéma contribue à rendre accessible un réel complexe ou non directement accessible. En d'autres mots, selon l'auteur, les modèles agissent en tant qu'objets de substitution pour représenter le réel.

Il est possible de retrouver des modèles dans les manuels scolaires. Ils peuvent être expliqués, voire fournis par les enseignants ou être construits avec ou par les élèves. Ils permettent aux enseignants de représenter certains concepts en donnant des repères concrets et plus visuels (Aurousseau, 2017; Aurousseau, Couture et Samson, 2016). Enfin, ils contribuent à soutenir l'enseignement de phénomènes scientifiques et technologiques en classe, car les modèles ont pour fonction d'expliquer, de prédire et de représenter (Treagust *et al.*, 2002; Martinand, 1992).

Pour Morge et Doly (2013), l'enseignement des modèles débute par faire la distinction entre le modèle et la réalité qu'il représente sinon les élèves pourraient

croire que les modèles appris dans leurs cours de S&T correspondent à la réalité. Selon ces auteurs, un modèle peut représenter une réalité visible ou une réalité invisible.

Un modèle ne sera donc pas valide parce qu'il est conforme à la réalité à laquelle il est hétérogène, mais parce les prévisions en observation et mesures qu'il permet de faire, correspondent aux observations et mesures tirées de la réalité, cette comparaison étant possible du fait de l'homogénéité des éléments comparés (Morge et Doly, 2013, p. 160)

Offrir un support visuel aux apprenants semble prometteur, mais « le programme de science et technologie mise sur la participation active des élèves, qui sont appelés à faire preuve d'initiative, de créativité et d'autonomie, mais aussi d'esprit critique et de rigueur » (MELS, 2007b, p. 8). Dans ce contexte, il s'avère pertinent de se questionner sur l'exploitation des modèles en classe et de l'intérêt à faire construire des modèles aux élèves pour rendre leur apprentissage actif et signifiant.

Plusieurs études portent sur la perception des enseignants (Aurousseau, 2017; Justi et Gilbert, 2002a, 2002b; Roy et Hasni, 2014; Sirhan, 2007; Turkoglu et Oztekin, 2016; van Driel et Verloop, 2002; Varlet, 2013) et des élèves (Chittleborough *et al.*, 2005; Tasquier, Levrini et Dillon, 2016; Treagust *et al.*, 2002) à l'égard des rôles et de la nature des modèles en S&T. Les constats de ces recherches révèlent que les enseignants manquent de connaissances en ce qui concerne les modèles et leur conception. Quelques études (Roy et Hasni, 2014; van Driel et

Verloop, 2002) démontrent qu'ils ont une compréhension floue de la nature, des types et des caractéristiques des modèles. Alors, comment enseigner, faire apprendre ou favoriser la construction de modèles aux élèves s'ils constituent un défi pour certains enseignants (Lapointe, 2010; White et Mitchelmore, 2010)? Selon Morge et Doly (2013), la notion de modèle pose problème autant pour les élèves que pour les enseignants au niveau de leur compréhension épistémologique des modèles. Comme le soulignent Zaid (2010) et Varlet (2013), les enseignants ont également de la difficulté à concevoir des activités de modélisation en classe en tissant des liens avec le programme ministériel. Pour tout dire, certains enseignants demeurent peu ou mal outillés face aux modèles qui font pourtant partie intégrante du champ disciplinaire de la S&T, ce qui expliquerait peut-être le fait que la construction de modèles par les élèves eux-mêmes se révèle peu fréquente (Aurousseau, 2017).

L'étude menée par Chittleborough *et al.* (2005) auprès de 275 participants (du secondaire à l'université) conclut que la majorité des élèves comprennent les rôles des modèles dans l'avancement de la science, et ce, même s'ils ne sont pas explicitement expliqués en classe de S&T. De plus, la majorité des élèves ou étudiants³ comprennent les rôles des modèles dans l'apprentissage de la science, comme leur fonction explicative et descriptive. Selon eux, ils servent à supporter des théories, permettent de comprendre des concepts et s'avèrent utiles dans leur

³ Dans ce mémoire, l'emploi du masculin n'a d'autres fins que celle d'alléger le texte.

apprentissage. Dans les deux cas, la compréhension des rôles des modèles augmente avec l'âge.

Néanmoins, à notre connaissance, peu d'études portent sur les contributions potentielles des modèles dans la compréhension de concepts particulièrement abstraits (Champsaur et Ménager, 2013; Chemin, 2004). À cet effet, les retombées d'une telle recherche s'avèrent pertinentes pour les élèves du secondaire, car elle envisage des répercussions sur la compréhension de concepts particulièrement abstraits en mettant en place des dispositifs favorisant la visualisation et la manipulation et, par ricochet, implique de rendre plus explicite l'apprentissage des modèles et de la démarche de modélisation.

1.6 La démarche de modélisation : processus de construction d'un modèle

Le PFEQ met l'accent sur le développement de compétences qui se construisent par la participation active des élèves à des SAE significantes et adaptées aux exigences du programme ministériel (MELS, 2007a). Selon le PFEQ,

[e]lle [la compétence] y est définie comme étant *un savoir-agir fondé sur la mobilisation et l'utilisation efficaces d'un ensemble de ressources*. Elle suppose la capacité de l'élève à recourir de manière appropriée à des moyens diversifiés qui incluent non seulement l'ensemble de ses acquis scolaires, mais aussi ses expériences, ses habiletés, ses attitudes, ses champs d'intérêt de même que des ressources externes comme ses pairs, ses enseignants, des experts ou encore des sources d'information de diverses natures (MELS, 2006, p. 7)

Le PFEQ en S&T vise le développement de trois compétences disciplinaires. La première compétence est de « chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique et technologique » (p. 275). Celle-ci mise sur l'appropriation de contenu scientifique et technologique à travers un processus de résolution de problème. Cette appropriation s'articule autour, d'une part, des concepts prescrits dans la progression des apprentissages (MELS, 2011) et, d'autre part, autour des diverses démarches présentes dans le PFEQ de S&T comme la démarche de conception, la démarche de modélisation et la démarche d'investigation. Ces dernières s'intègrent dans des SAE en contexte de résolution de problème (MELS, 2007b). Au premier cycle du secondaire, la première compétence disciplinaire en S&T met de l'avant deux démarches de manière explicite, soit la démarche de conception et la démarche d'investigation (MELS, 2007a). Il faut se rappeler que le principal objectif au premier cycle du secondaire est que les élèves développent une culture scientifique et technologique générale (MELS, 2007a).

Axée sur le questionnement, l'exploration, l'observation systématique et l'expérimentation, la démarche d'investigation vise à expliquer des phénomènes. Axée sur la satisfaction d'un besoin individuel ou collectif, la démarche de conception a pour objectif la construction d'objets techniques (MELS, 2007a, p. 275)

La figure 2 ci-dessous montre les étapes d'une investigation scientifique et d'une conception technologique. Ce qui diffère entre ces deux démarches se situe au niveau de l'expérimentation. En effet, l'investigation mise sur une expérience pour collecter des données afin de les analyser tandis que la conception vise la fabrication

et la mise à l'essai d'un prototype.

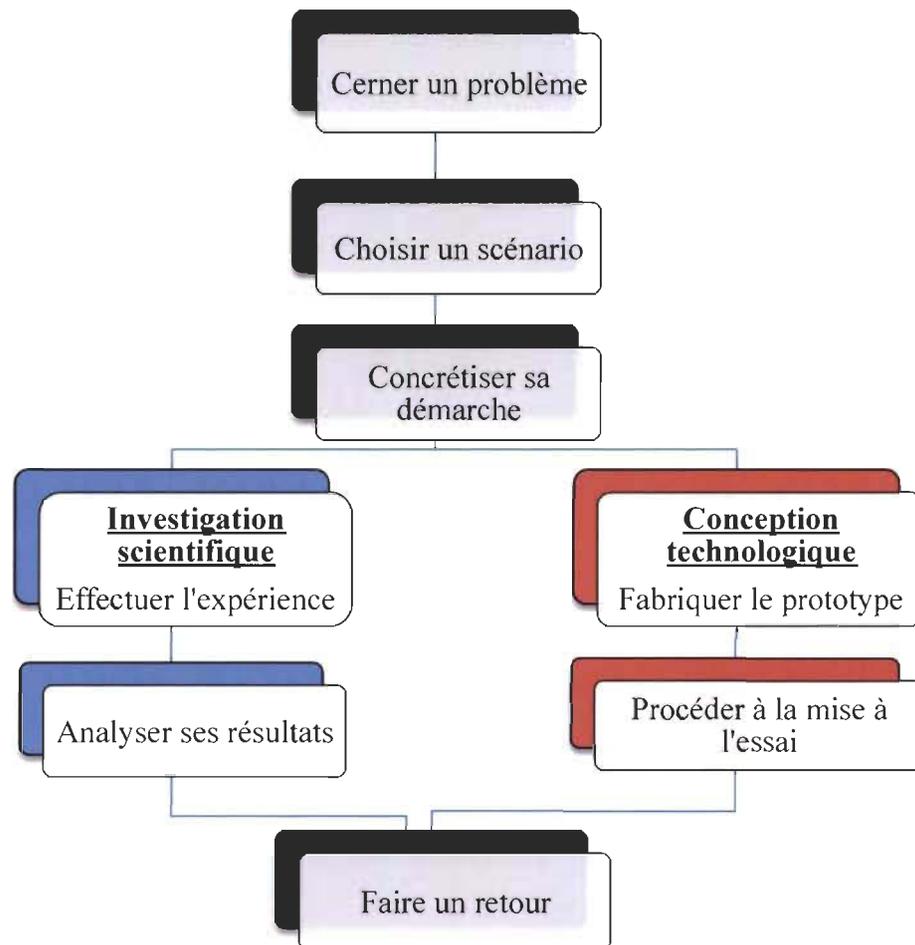


Figure 2. Schéma illustrant les étapes d'une investigation scientifique et d'une conception technologique selon le PFEQ (MELS, 2007a)

La deuxième compétence consiste à « mettre à profit ses connaissances scientifiques et technologiques » (MELS, 2007a, p. 278). Pour développer cette compétence, les élèves s'approprient des concepts scientifiques et technologiques par l'entremise des démarches afin de comprendre des phénomènes. « Comprendre un

phénomène, c'est d'abord s'en donner une représentation qualitative qui permet d'en saisir les relations. C'est aussi parvenir à l'expliquer à l'aide de lois et de modèles appropriés » (MELS, 2007a, p. 278). Cette compétence permet de s'approprier des concepts en s'interrogeant et en se représentant des phénomènes en plus de contextualiser les savoirs d'un point de vue éthique, social ou historique (MELS, 2007a).

La troisième compétence consiste à « communiquer à l'aide des langages utilisés en science et technologie » (MELS, 2007a, p. 280). Elle mise sur l'aspect communicationnel en ayant recours à divers types de langages pour interpréter ou transmettre de l'information. Cette compétence est sous-jacente aux deux autres compétences disciplinaires en S&T. Elle vise l'appropriation des savoirs par le partage d'information.

L'expérimentation scientifique ou la construction d'un objet technique font toutes deux appel à des conventions, et ce, tant pour l'élaboration d'un protocole de recherche ou d'un scénario de réalisation que pour la présentation de résultats. Tableaux, graphiques, symboles, schémas, dessins techniques, maquettes, équations mathématiques et modèles sont autant de modes de présentation qui peuvent soutenir la communication, dans la mesure toutefois où les règles d'usage propres à la discipline et à la mathématique sont respectées (MELS, 2007a, p. 280)

Au deuxième cycle du secondaire, le PFEQ s'articule autour de sept démarches : la modélisation, l'observation, l'expérimentation, la démarche empirique, la construction d'opinion, la conception et l'analyse technologique. Celles-ci

permettent de résoudre des problèmes d'ordres scientifique et technologique dans des SAE. Ces démarches soutiennent la démarche d'investigation scientifique et technologique, laquelle est encouragée par plusieurs curricula, au Québec (Hasni *et al.*, 2015) comme en France (Boilevin et Brandt-Pomares, 2011), car elle semble engendrer des effets positifs sur l'intérêt des élèves ainsi que sur leurs apprentissages (Hasni *et al.*, 2015; Potvin et Hasni, 2013). Cette démarche débute par une mise en situation contenant un problème d'ordre scientifique ou technologique à résoudre. Ce problème représente un défi raisonnable pour les élèves qui ne mène pas à une solution unique (Potvin et Hasni, 2013). Toujours selon Potvin et Hasni (2013), elle vise à ce que les élèves expérimentent, observent ou construisent quelque chose.

Bien que cette démarche soit implicite au premier cycle du secondaire, celle qui nous intéresse dans le cadre de cette étude est la démarche de modélisation. Nous avons choisi cette démarche, car elle fait appel à la construction de modèles permettant de concrétiser des concepts abstraits (MELS, 2007b). En y recourant, les élèves peuvent représenter et se représenter un phénomène de même qu'obtenir un support à leur apprentissage en lui donnant du sens (Treagust et Harrison 1999). Les modèles scientifiques sont des outils précieux, car ils peuvent être utilisés pour « donner un sens aux concepts scientifiques abstraits, difficiles et non observables pour s'adapter à la personne qui explique, à son public, au contenu et au contexte »

[Traduction libre] (p. 4)⁴.

Néanmoins, le recours à la démarche de modélisation prend toute son importance au moment d'étudier des concepts scientifiques et technologiques difficilement observables lors d'expérimentations directes (Bodur et Guichard, 2006) comme c'est le cas pour l'étude du fonctionnement interne du corps humain. En fait, apprendre grâce à une démarche de modélisation, c'est établir une concordance entre la théorie (abstrait) et le réel (concret) (Gagnon, 2015; Orange, 1997). C'est pourquoi nous considérons cet objet de recherche comme pertinent, car il s'avère essentiel dans l'enseignement de la S&T tout en étant présent dans le programme ministériel.

1.7 Les questions générales de recherche

Ce chapitre de la problématique nous a permis de comprendre que la S&T est une matière difficile pour les apprenants en raison de la nature abstraite de certains concepts (Legendre, 1994; Johnstone, 1991). Le recours à des modèles contribue à rattacher les concepts abstraits à une réalité plus concrète (Orange, 1997), permettant ainsi de rendre plus accessibles les phénomènes complexes. Les modèles jouent donc un rôle crucial dans le développement de la pensée des apprenants. Les élèves ont besoin d'être impliqués intellectuellement dans leur processus d'apprentissage, de résoudre des problèmes et de recourir à des démarches, comme la démarche d'investi-

⁴ « [...] make sense of abstract, difficult and non-observable science concepts to accommodate the explainer, the audience, the content and the context » (Tregust et Harrison, 1999, p. 4).

gation, pour accroître leur intérêt (Hasni *et al.*, 2015). Il faut se préoccuper de l'apprentissage des concepts particulièrement abstraits en S&T au secondaire, car ils représentent un défi qu'il faut surmonter pour que les élèves puissent mieux comprendre.

Ainsi, cette recherche vise à décrire la perception d'élèves du secondaire dans l'appréhension de concepts particulièrement abstraits en S&T, en plus de décrire et d'expliquer les contributions potentielles des modèles pour les appréhender. Pour ce faire, cette étude cible la démarche de modélisation comme méthode à utiliser par les élèves pour construire un modèle afin de se représenter les concepts abstraits présents dans la SAE en vue de résoudre la situation problématique et, par le fait même, de développer la compétence 1 en S&T. Dans cette SAE, les élèves de première secondaire doivent se poser des questions, manipuler et construire une maquette pour représenter les mouvements entre le Soleil, la Terre et la Lune (S-T-L). Le modèle construit permet de visualiser le phénomène étudié en plus d'interagir sur les différents éléments qui le composent. Comme les participants à cette recherche sont du premier cycle du secondaire et que les concepts abordés sont relativement abstraits, nous misons sur la construction d'un modèle par l'entremise de la démarche de conception. « En technologie, on privilégie la démarche de conception pour le premier cycle puisqu'elle constitue un terrain fertile pour aborder les concepts abstraits de manière concrète et dans l'action » (MELS, 2007a, p. 268). À la fin de la SAE, les apprenants doivent être en mesure de décrire et d'expliquer divers

phénomènes qui se rattachent au système S-T-L.

De la problématique découlent les deux questions de recherche qui se formulent ainsi :

- 1) Comment des élèves du secondaire perçoivent-ils les modèles et la démarche de modélisation dans l'appréhension de concepts particulièrement abstraits en S&T?
- 2) Quelles sont les contributions potentielles du modèle construit par les élèves pendant la réalisation de la SAE dans l'appréhension de concepts particulièrement abstraits en S&T?

Le prochain chapitre expose et définit les principaux concepts de la recherche. Nous débutons par expliquer quelques concepts dont l'abstrait (champ théorique), le concret (champ expérimental) et l'abstraction. Ensuite, nous apportons un éclairage sur les concepts, la conception en tant que représentation, la conception en tant que construction et sur les perceptions. Les rôles, fonctions, types et caractéristiques des modèles dans l'enseignement et dans l'apprentissage de la S&T sont décrits. Finalement, la démarche de modélisation, faisant office de médiateur entre l'abstrait et le concret, est mise en lumière.

Chapitre 2

Le cadre conceptuel

Le présent chapitre propose une vue d'ensemble sur les différents concepts qui nous intéressent dans le cadre de cette étude. Il permet de clarifier certains termes découlant de la problématique et des questions de recherche. Premièrement, une définition du concret, de l'abstrait et de l'abstraction contribue à mieux comprendre ce que nous entendons par concept abstrait. Deuxièmement, il nous semble opportun de clarifier et de définir les termes relatifs à la conception, la représentation et la perception. Troisièmement, nous expliquons les rôles, fonctions, types et caractéristiques des modèles de même que la démarche de modélisation afin d'établir des liens avec les perceptions des élèves. Finalement, nous présentons les objectifs de la recherche formulés à la lumière du cadre conceptuel.

2.1 L'abstrait, le concret et l'abstraction

Comme le souligne Gagnon (2015), l'abstrait découle de l'action de l'esprit, qui représente certaines propriétés d'un ensemble de phénomènes. Autrement dit, il s'agit de quelque chose qui s'éloigne de son contexte ou de sa globalité (Fourez, Englebert-Lecompte et Mathy, 1997). Au contraire, le concret est une réalité matérielle, tangible et perceptible grâce aux sens (Gagnon, 2015), en plus d'être contextualisée dans sa totalité (Fourez *et al.*, 1997). L'abstraction serait donc le passage à un niveau supérieur de généralité, qui permet d'analyser et de construire de nouveaux savoirs (Gagnon, 2015). La conception d'un modèle contribuerait à lier le phénomène abstrait à une réalité tangible (Orange, 1997). En effet, comme le

soulignent Morge et Doly (2013), « [i]l paraît également important de proposer des situations didactiques permettant aux élèves de voir l'objet à représenter afin qu'ils puissent comparer le modèle à la réalité observable et perceptible » (p. 161).

2.2 Le concept, la conception, la représentation et la perception

Cette section présente quelques concepts en lien avec notre sujet d'étude. Pour commencer, il nous semble opportun de définir le terme « concept » pour ensuite apporter certaines précisions au mot « conception ». D'une part, une conception est une représentation mentale et, d'autre part, elle signifie la construction de quelque chose. Finalement, l'explication de la perception met fin à cette section.

2.2.1 Le concept

Selon Thouin (2009), « [l]es *concepts* sont des représentations mentales générales et abstraites permettant d'organiser et de simplifier les perceptions et les connaissances, par exemple les concepts de cellule, d'organisme, de température, de temps, de densité ou de pression » (p. 12). Ces derniers sont des concepts particulièrement abstraits, c'est-à-dire qu'ils s'éloignent significativement de la réalité concrète, ce qui rend leur compréhension plus difficile (Legendre, 1994; Radford, Demers et Miranda, 2009).

2.2.2 La conception, la représentation et la perception

Selon le dictionnaire de Legendre (2005), une conception est une « représentation interne d'idées coordonnées et d'images explicatives utilisées par l'apprenant pour sélectionner, organiser, structurer de nouvelles informations, et ainsi s'approprier le réel » (p. 268). Il s'agit d'une image mentale construite par un individu à propos d'un concept (Chittleborough *et al.*, 2005) pour « conceptualiser sa pensée » (Legendre, 2005, p. 1179). Ces images mentales dépendent des connaissances du phénomène et peuvent être façonnées par l'éducation et le milieu culturel (Kopp et Lombard, 2012). D'ailleurs, comme chaque individu perçoit le monde différemment, les représentations internes de chacun peuvent varier : « Autrement dit, même quand nous parlons de la "réalité", nous évoquons celle-ci au moyen d'une représentation qui est la nôtre » (Fourez *et al.*, 1997, p. 43). Selon Arnoux et Finkel (2010), une partie importante de la compréhension réside dans la construction de représentations mentales ou concrètes (images, symboles, etc.).

Les conceptions générées dans l'esprit de l'apprenant relient un ou plusieurs concepts à des théories implicites qui peuvent s'avérer naïves d'un point de vue scientifique (Robardet et Guillaud, 1997). Les élèves construisent des images mentales pour expliquer, à partir du sens commun, un concept ou un phénomène (Potvin, 2011). Les conceptions initiales des apprenants peuvent s'avérer erronées s'ils ne comprennent pas ce qu'il fallait comprendre ou ce qu'il fallait faire pour comprendre (Barth, 2002). Autrement dit, une conception initiale (ou préconception)

désigne les idées préconçues d'un élève avant de recevoir un enseignement formel (Legendre, 2005). Les conceptions issues du sens commun peuvent alors être rectifiées pour évoluer vers une représentation plus adéquate d'un point de vue scientifique (Potvin, 2011). Dans ce cas, l'élève fait face à un changement de conception.

Ces représentations sont parfois ancrées si solidement dans l'esprit de l'apprenant qu'elles résistent au changement. « Et cela est d'autant plus vrai que la réalité représentée est invisible et laisse la porte ouverte à l'idéologie de *« l'expérience première »*, la science ne pouvant que présenter les choses telles qu'elles sont dans la nature » (Morge et Doly, 2013, p. 160). Selon Potvin (2011), pour ébranler, voire modifier les conceptions plus résistantes, le recours au conflit cognitif peut s'avérer nécessaire.

Un conflit cognitif se produit quand un individu détenant une conception qu'il emploie activement pour comprendre son environnement voit cette conception en contradiction avec les concepts qui lui sont proposés, ou en contradiction avec de nouvelles informations qui lui sont présentées (Potvin, 2011, p. 149)

En ce qui concerne la perception, Jiménez (1997) la définit comme étant une « connaissance immédiate d'origine sensorielle » (p. 8) qui s'appuie sur la mémoire pour représenter son environnement. Il s'agit donc d'une construction de sens. L'auteur explique que lorsque nous regardons autour de nous, nous percevons notre environnement. Lorsque nous fermons les yeux, il est possible de s'imaginer ce

même environnement, tout comme il est possible de reconnaître une image floue en se basant sur ses caractéristiques distinctives. La perception est une représentation mentale en quête de sens au même titre que la conception.

Dans le cadre de cette recherche, nous utilisons également le terme « conception » pour faire référence à la construction d'un *Planétaire*. Il s'agit d'une maquette en trois dimensions que nos participants de première secondaire doivent réaliser dans le cadre d'une SAE. La conception en tant que processus de construction « [...] mobilise la structure conceptuelle du sujet pour raisonner face à certaines situations ou problèmes » (Legendre, 2005, p. 268).

2.3 Les modèles

Cette section présente la nature des modèles. Ainsi, nous abordons les rôles qu'ils exercent dans la compréhension de concepts en plus de leurs principales fonctions (décrire, expliquer, représenter et prédire). Ensuite, nous décrivons les divers types de modèles existants classés en fonction de leur niveau d'abstraction (modèles physiques, modèles symboliques et modèles analogiques). Enfin, nous abordons les caractéristiques des modèles (simplification du réel, modifiable et contextuel).

2.3.1 *Les rôles et les fonctions des modèles*

Selon Thouin (2009), un modèle peut avoir deux définitions. Premièrement, il peut désigner « quelque chose ou quelqu'un à imiter » (p. 16). Par exemple, dans une classe, un élève peut tenter de reproduire les comportements de « l'élève modèle ». Cette définition renvoie au sens commun du mot modèle, soit par un « [i]déal à atteindre par l'imitation d'un être ou d'un objet réel, ou par référence à un ensemble de caractéristiques à acquérir pour s'approcher d'un état de perfection; guide de l'action et de la pensée » (Legendre, 2005, p. 892). Deuxièmement, « [l]es *modèles* sont des structures formalisées utilisées pour rendre compte d'un ensemble de faits, d'observations, de concepts, de lois et de théories reliés de diverses façons » (Thouin, 2009, p. 13). Ils peuvent donc être représentés de différentes manières, soit à l'aide d'une maquette, d'un diagramme, de symboles ou autres (Thouin, 2009).

Drouin (1998) définit un modèle comme étant un intermédiaire entre l'abstrait et le concret qui se substitue à un phénomène réel difficilement accessible afin de le comprendre.

En tant qu'objet de substitution le modèle permet une maniabilité, qui souvent se traduit par une simple démarche intellectuelle et non une manipulation concrète d'un modèle-maquette : le modèle est un objet transformable, plus facile à "manier" que la réalité, mais qui pour en rendre compte correctement doit être confronté sans cesse avec elle (Drouin, 1998, p. 11)

Selon Martinand (1992), le modèle sert d'outil pour résoudre un problème en représentant mentalement ou concrètement un concept pour qu'il devienne intelligible. Ainsi, un modèle correspond à une représentation qui peut prendre diverses formes, allant d'un objet physique concret à une équation abstraite.

En S&T, les modèles ont un rôle primordial à jouer dans l'apprentissage et dans la compréhension de certains concepts. Ceux-ci servent à décrire (Gervais et Samson, 2007; Lebeaume et Hamon, 2010; van Driel et Verloop, 2002), expliquer (Lebeaume et Hamon, 2010; Martinand, 1992; Pierrard, 1988; Robardet et Guillaud, 1997; Tasquier *et al.*, 2016; van Driel et Verloop, 2002) et comprendre (Martinand, 1992; Robardet et Guillaud, 1997) un phénomène. Prenons l'exemple d'un modèle de type *Planétaire* (représentation concrète réduite, à l'échelle ou non, du système Soleil-Terre-Lune). Cette représentation permet de décrire les mouvements du Soleil, de la Terre et de la Lune en plus de contribuer à expliquer la formation des éclipses solaires et des éclipses lunaires. Il est également possible d'interpréter des données recueillies lors de divers tests effectués avec un modèle afin de prédire des résultats (Gervais et Samson, 2007; Lebeaume et Hamon, 2010; Martinand, 1992; Robardet et Guillaud, 1997; Treagust *et al.*, 2002; van Driel et Verloop, 2002). Par exemple, des élèves peuvent créer une boîte lunaire⁵ afin d'observer puis d'expliquer les phases de la Lune. Il s'agit d'une boîte munie de huit ouvertures. À l'intérieur de la boîte se

⁵ Une boîte lunaire consiste en un modèle rudimentaire permettant d'observer les phases de la Lune : <https://leplanificateurdessciences.org/cahier-de-leleve.html?idc=268>

trouve une balle qui représente la Lune et cette dernière est éclairée par une lampe de poche qui modélise le Soleil. L'observateur regarde par une des huit ouvertures afin de voir une phase du cycle lunaire. Ainsi, ce modèle permet aux élèves d'émettre des hypothèses en plus de faire des observations afin de confirmer ou d'infirmer leurs hypothèses lors d'une expérience (Pierrard, 1988). En somme, un tel modèle présente trois principales fonctions, soit la représentation, l'explication et la prédiction (Aurousseau, 2017; Kopp et Lombard, 2012; Scheidecker-Chevalier et Laporte, 1999).

2.3.2 Les types de modèles

Il existe une multitude de modèles que les enseignants et les élèves peuvent utiliser ou créer pour représenter des phénomènes. Il est possible de les classer en fonction de leur niveau d'abstraction, c'est-à-dire en prenant en considération leur degré de correspondance avec la réalité concrète.

Pour Robardet et Guillaud (1997), les modèles sont soit physiques, soit symboliques. Les modèles physiques correspondent à des constructions réduites d'un phénomène comme des maquettes et des schémas, ou à des comparatifs comme des analogies. Les équations et les formules mathématiques se situent dans le niveau symbolique. En revanche, van Driel et Verloop (2002) en présentent deux autres types, soit le modèle d'apparence (physique et mathématique) et le modèle de fonction. Legay (1997), quant à lui, a identifié d'autres déclinaisons, soit le modèle

d'hypothèse (descriptif), le modèle mécanique (explicatif) ainsi que le modèle de décision et de prévision (prédictif). Ces types de modèles correspondent aux fonctions présentées dans la section précédente. Selon Thouin (2009), les modèles sont divisés en deux catégories, soit les modèles physiques « comme le modèle du pendule qui peut représenter et expliquer un grand nombre de phénomènes d'oscillation » (p. 16) et les modèles théoriques ou mathématiques. Varlet (2013) suggère trois catégories de modèle, soit les modèles physiques sous forme concrète et matérielle, les modèles analogiques qui permettent de comprendre un phénomène complexe en se référant à un autre phénomène simple et connu ainsi que les modèles symboliques subdivisés en trois formes : symbolique (équations), visuelle (schémas) et gestuelle (mimiques).

En résumé, les types de modèles varient selon les auteurs. Toutefois, nous retenons qu'il existe des modèles physiques (maquettes, images, schémas, etc.), des modèles symboliques (équations et formules) ainsi que les modèles analogiques (comparer une réalité à une autre en misant sur les aspects similaires).

2.3.3 Les caractéristiques des modèles

Comme le souligne Ney (2006), un modèle n'est pas la pure réalité; il s'agit d'un outil nous permettant de visualiser un phénomène pertinent dans un contexte prédéfini :

Un stylo n'est ni vrai ni faux, c'est un instrument qui peut servir, entre

autres, à écrire, mais qui sera peu utile pour effacer. Un modèle est un outil qui fournit simplement des résultats plus ou moins valables dans un domaine plus ou moins étendu. Il peut être utilisé à bon ou à mauvais escient, la responsabilité en incombe à l'utilisateur (p. 142)

Les modèles possèdent plusieurs caractéristiques. Premièrement, ils sont des simplifications d'un phénomène (Chamsaur et Ménager, 2013; Chemin, 2004; Fourez *et al.*, 1997; Gervais et Samson, 2007; Kopp et Lombard, 2012; Martinand, 1992; Robardet et Guillaud, 1997; Roy et Hasni, 2014), c'est-à-dire qu'une partie de la réalité est ignorée dans un modèle. Ce dernier étant « plus facile à “manier” que la réalité » (Drouin, 1998, p. 11), il est possible de modifier des paramètres pour décrire, expliquer, ou faire des prédictions à l'aide du modèle. Par exemple, des élèves peuvent illustrer un neurone à l'aide d'un schéma afin de comprendre les différentes parties qui le composent. Il ne s'agit toutefois pas d'un véritable neurone et ce schéma ne permet pas de comprendre les interactions neuronales dans toute leur complexité. Dans ce cas, le modèle permet de visualiser seulement une partie de la réalité (le neurone) afin de comprendre ses composantes.

Deuxièmement, les modèles doivent être précis afin de décrire, d'expliquer, de représenter et de prédire correctement la partie du phénomène étudié (Gervais et Samson, 2007; Roy et Hasni, 2014). Il serait en effet difficile de représenter la taille réelle des planètes de notre système solaire. Cependant, il est possible de créer un modèle réduit, tout en respectant les dimensions des planètes ainsi que les distances qui les séparent sans pour autant compromettre la précision du modèle.

Troisièmement, les modèles sont perfectibles (Gervais et Samson, 2007). En effet, il est possible de les modifier pour les adapter et ainsi les faire évoluer en fonction des nouvelles connaissances scientifiques (Hasni, 2010; Lapointe, 2010; Roy et Hasni, 2014). Prenons l'exemple des modèles atomiques. Au fil du temps, les scientifiques acquièrent de nouvelles connaissances qui leur permettent de mieux concevoir le modèle de l'atome. Thompson a élaboré son modèle « plum pudding » qu'on peut comparer à une miché de pain aux raisins où la pâte représente les protons et les raisins les électrons. Le modèle de Rutherford-Bohr, corrigé par Chadwick, est celui utilisé dans les cours de science au secondaire par les enseignants. Dans ce cas, le noyau atomique est composé de protons et de neutrons autour duquel gravitent des électrons. Cet exemple démontre l'aspect perfectible des modèles où les progrès scientifiques mènent à les revoir et à les faire évoluer.

Finalement, les modèles peuvent être pertinents dans certains contextes, mais pas nécessairement dans d'autres (Martinand, 1992). En effet, un schéma montrant la circulation sanguine dans le corps humain est pertinent pour comprendre la circulation de l'oxygène et des nutriments, mais ne l'est pas pour expliquer la production de cellules sanguines dans l'organisme. Comme le soulignent Fourez *et al.* (1997), « [t]out modèle est limité et son champ d'application l'est également » (p. 123).

Cette section du cadre conceptuel a permis d'expliquer et de définir ce qu'est un modèle. Pour ce faire, les rôles, les fonctions et les caractéristiques des modèles ont été explicités. Ensuite, des types de modèles existants qui sont classés en fonction de leur degré de correspondance avec le concret ont été décrits. Maintenant, il semble essentiel de définir la démarche de modélisation.

2.4 La démarche de modélisation

Selon Legendre (2005), la modélisation consiste à construire des modèles, « soit pour décrire un système d'information existant (analyse), soit pour élaborer un nouveau système d'information (conception) » (p. 907). Pour Ney (2006), la démarche de modélisation se définit comme étant un projet qui nécessite un sujet et un objet. Par exemple, une personne (sujet) peut prendre un stylo (objet) pour écrire (projet). Une autre personne (sujet) pourrait prendre ce même stylo (objet) pour appuyer sur des boutons (projet). Ainsi, à partir d'un même objet, il est possible d'engendrer plusieurs projets (Ney, 2006). En ce qui concerne la démarche de modélisation, le projet consiste en un produit final (modèle), qui est élaboré par l'élève (sujet) grâce à un support (objet) comme un dessin, une maquette, un logiciel, etc. Cette démarche consiste donc en un processus de conception de représentations pour concrétiser des phénomènes difficilement accessibles (Bodur et Guichard, 2006; Gagnon, 2014; Gagnon, 2015; MELS, 2007b; Varlet, 2013). Il s'agit d'un « processus itératif constitué d'un ensemble d'opérations menant au développement

et à la création de tout type de modèles » (Legendre, 2005, p. 907).

La démarche de modélisation prend appui sur l'observation et l'expérimentation. « Toute expérimentation peut déboucher sur une question dont la solution nécessitera la construction ou l'usage d'un modèle » (Astolfi, *et al.*, 2006, p. 99). En fait, cette démarche s'articule autour d'un problème à résoudre nécessitant la construction d'un modèle physique ou théorique afin de décrire, d'expliquer ou de prédire le phénomène en question (Thouin, 2009).

À la lumière de nos lectures, nous sommes en mesure de diviser la démarche de modélisation en quatre grandes étapes résumées à la figure 3. La première étape consiste à cerner le problème et à émettre des hypothèses. Les élèves sont amenés à réfléchir au problème présent dans une situation problématique (MELS, 2007b). Celle-ci représente un défi raisonnable, suscite l'intérêt et l'engagement des élèves (Calmettes, 2009; Kopp et Lombard, 2012; Lapointe, 2010; Robardet, 1995; Roy et Hasni, 2014). Une amorce intrigante en lien avec leur vécu semble être à favoriser pour commencer la situation problème (Calmettes, 2009). Durant cette phase, il faut prendre en considération les représentations initiales des élèves afin de les valider ou de les invalider au cours de l'expérimentation (Robardet, 1990, 1995) qui a pour objectif d'ébranler les conceptions des élèves menant à un conflit cognitif (Martinand, 1992). La deuxième étape consiste à formaliser sa démarche, c'est-à-dire de construire le modèle (Thouin, 2009) pour ensuite le tester. Pour ce faire, l'élaboration

d'un protocole expérimental est nécessaire (Roy et Hasni, 2014). La troisième étape permet de modifier et d'ajuster le modèle afin de répondre convenablement au problème de départ (Robardet et Guillaud, 1997; Roy et Hasni, 2014; Thouin, 2009). Afin de considérer la valeur du modèle, cette étape peut contenir une phase de prédiction. La troisième étape s'avère parfois accompagnée d'une phase d'argumentation (Roy et Hasni, 2014), où un débat s'installe pour critiquer les modèles. Durant cette phase, les élèves interagissent et mettent en commun leurs représentations. La mise en œuvre d'un débat en classe leur permet de donner du sens aux apprentissages et d'engendrer des changements de conceptions (Martinand, 1992). Au cours de la quatrième étape, les apprenants répondent à leurs hypothèses à partir des observations découlant de l'expérimentation (Lapointe, 2010; Robardet, 1990, 1995; Roy et Hasni, 2014). Ainsi, cette démarche s'inscrit dans un raisonnement hypothético-déductif, où les élèves tentent de confirmer ou d'infirmer leurs hypothèses en fonction de leurs observations. Ils sont amenés à cibler les forces et les limites du modèle construit (Aurousseau, 2017) afin de le critiquer et de faire un bilan. La quatrième étape envisage donc de comparer le modèle au phénomène qu'il tente d'expliquer (Robardet et Guillaud, 1997). Au final, le modèle peut être accepté, modifié ou rejeté (Thouin, 2009).

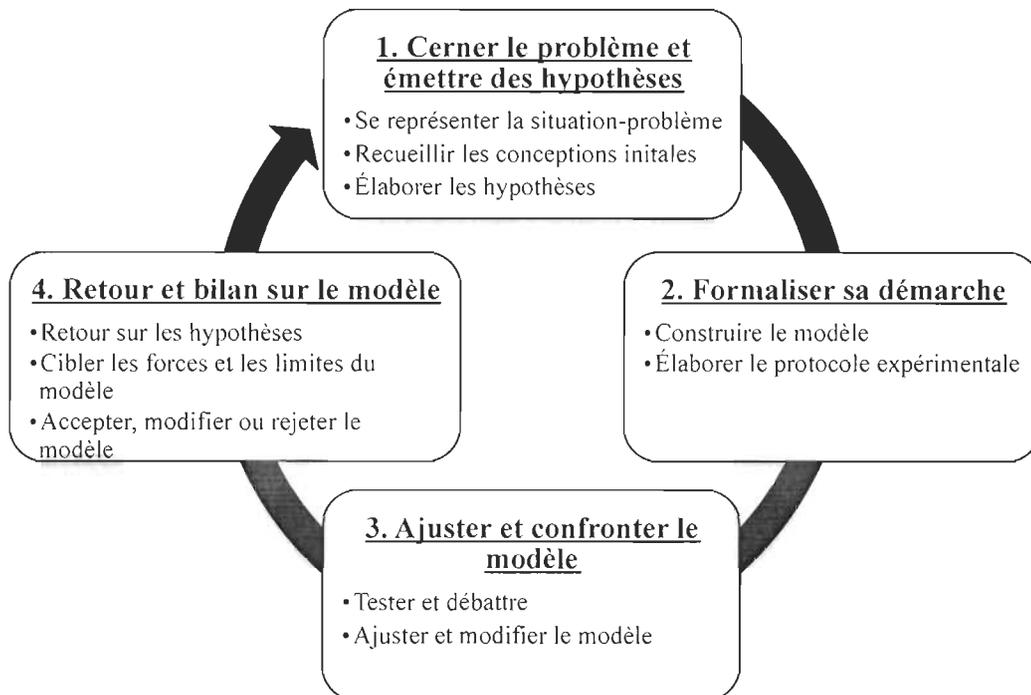


Figure 3. Les quatre étapes de la démarche de modélisation

Au cours de la démarche de modélisation, le modèle est utilisé comme outil pour résoudre le problème, l'expliquer et le comprendre (Robardet, 1990. 1995). Maintenant que les modèles et la démarche de modélisation ont été expliqués, il importe dorénavant d'établir les objectifs de cette recherche découlant du cadre conceptuel.

2.5 Les objectifs de la recherche

Des concepts préalablement définis dans le cadre conceptuel découlent deux objectifs. Il s'agit de :

1. Décrire la perception d'élèves du secondaire à l'égard des modèles et de la démarche de modélisation pour appréhender des concepts particulièrement abstraits en S&T.

2. Décrire et expliquer les contributions potentielles du modèle construit pendant la réalisation de la SAE dans l'appréhension de concepts particulièrement abstraits en S&T.

En somme, les modèles servent à représenter des phénomènes (MELS, 2007b) en joignant l'abstrait au concret (Gagnon, 2015; Orange, 1997). Ils permettent entre autres de décrire, d'expliquer et de comprendre un phénomène. Étant hypothétiques, contextuels et modifiables (Martinand, 2010) les modèles peuvent être construits lors de la démarche de modélisation. Les concepts particulièrement abstraits sont difficiles à comprendre, c'est pourquoi la conception et l'utilisation de modèles peuvent influencer leur appréhension. Dans le prochain chapitre, nous expliquons et justifions les choix méthodologiques de cette recherche.

Chapitre 3
La méthodologie

Notre recherche a pour but de décrire la perception d'élèves du secondaire quant à la construction d'un modèle dans leur cours de S&T, en plus de décrire et d'expliquer les contributions potentielles de ce modèle dans l'appréhension de certains concepts. Tout d'abord, nous expliquons les choix du devis méthodologique. Une section porte sur le recrutement des participants qui contient les critères d'inclusion et d'exclusion. Par la suite, une présentation des méthodes de collecte de données ainsi que des modalités d'analyse mènent au traitement des données. Enfin, une analyse thématique des données permet de produire des thèmes afin de répondre à nos objectifs de recherche.

3.1 Le choix du devis méthodologique

Dans le cadre de cette recherche, nous recourons à un devis qualitatif de nature descriptive, interprétative et exploratoire. Ce choix méthodologique permet de décrire et de comprendre un phénomène qui est peu documenté (Van der Maren, 1996). Selon Fortin et Gagnon (2016), le but de la méthode qualitative est de « comprendre l'expérience humaine telle qu'elle est vécue et rapportée par les participants » (p. 65). Ainsi, elle sert à établir un portrait global des expériences personnelles face à une situation (Fortin et Gagnon, 2016).

Cette recherche de nature descriptive vise à obtenir le discours d'élèves du secondaire pour documenter (Van der Maren, 1996) leur perception à l'égard des

modèles en S&T lors de la réalisation d'une SAE. Par ailleurs, à partir du portrait global de chaque élève, nous décrivons puis expliquons les contributions potentielles des modèles, à travers les critères définis dans le cadre conceptuel, à l'égard de l'appréhension des concepts particulièrement abstraits présents dans la SAE. L'astronomie demeure une science contenant des concepts particulièrement abstraits rendant l'apprentissage difficile pour les apprenants même si les phénomènes peuvent être facilement visibles (Chastenay, 2017). L'enseignante volontaire a un rôle crucial à jouer dans la sélection des concepts particulièrement abstraits faisant appel à la construction d'un modèle dans ses groupes de S&T. Ces concepts sont choisis en fonction du niveau scolaire des participants (première secondaire), de la planification globale de l'enseignante et des difficultés rencontrées par ses élèves.

Une posture interprétative prend place dans le cadre de cette étude. Pour comprendre le vécu des participants en profondeur, il faut tenir compte des interactions entre ces derniers et leur environnement (Karsenti et Savoie-Zajc, 2000). Selon les auteurs, « [u]ne démarche de recherche qualitative/interprétative se moule sur la réalité des répondants; elle se déroule en tenant compte des apprentissages du chercheur à propos du sens qui prend forme pendant la recherche » (p. 173). Ainsi, notre objectif est de mieux appréhender leur quotidien afin de connaître leurs perceptions et les contributions des modèles dans leur apprentissage.

Le devis exploratoire se justifie par une problématique ayant fait l'objet de

peu de recherche (Fortin et Gagnon, 2016), comme c'est le cas pour notre étude. Selon ces auteurs, cette avenue s'avère pertinente à explorer pour documenter ce qui n'a pas encore été décrit par la recherche.

3.2 Le recrutement des participants et la SAE sélectionnée

La population à l'étude représente un groupe d'élèves de première secondaire issus d'une école publique de la Mauricie. Pour recruter les participants, nous sommes entrée en contact avec des directions et des enseignants afin de pouvoir mener notre recherche dans une école de la Mauricie. Une enseignante de première secondaire a répondu positivement à notre requête en se montrant ouverte et disposée à nous accueillir dans ses groupes de S&T. Pour pouvoir participer à notre recherche, les élèves devaient avoir dûment rempli le formulaire d'information et de consentement (Appendice A) signé par leurs parents ou leurs tuteurs légaux. Ce document comprend toutes les informations concernant la participation de l'élève à notre recherche.

Nous avons présenté notre projet de recherche à deux classes de S&T de première secondaire de l'enseignante volontaire. Parmi ces deux groupes, neuf élèves (quatre filles et cinq garçons) démontrent de l'intérêt à participer à cette étude. Ayant complété le formulaire de consentement, ces neuf élèves représentent notre échantillon de recherche. Afin de respecter les règles en lien avec l'éthique de la

recherche, nous avons obtenu un certificat d'éthique de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Ce certificat porte le numéro CER-17-239-07.21 (Appendice B).

Afin de mener à terme ce projet de recherche, l'enseignante et l'étudiante-chercheuse ont sélectionné une SAE portant sur la conception d'un *Planétaire*⁶ (Centre de développement pédagogique, 2006). Nous avons décidé d'opter pour cette SAE, car d'une part, elle fait appel à la démarche de modélisation pour construire un modèle représentant un phénomène et, d'autre part, elle renferme des concepts relativement abstraits en astronomie comme la rotation et la révolution des astres (Chastenay, 2017). Cette SAE s'inscrit bien dans notre recherche, qui vise à décrire la perception d'élèves de première secondaire à l'égard d'un modèle construit (maquette), en plus de décrire et d'expliquer les contributions potentielles de ce dernier dans l'appréhension de concepts particulièrement abstraits.

Dans la construction de maquettes [...] ils [les élèves] peuvent, en même temps qu'ils manipulent, tester les effets de leur montage, ils sont, à travers leurs dessins, dans une situation plus abstraite. Mais on ne peut pour autant assimiler la réalisation des dispositifs à une activité expérimentale, dans la mesure où ces dispositifs ne sont pas étudiés pour eux-mêmes, mais en tant que substitut ou modèle d'autre chose (Martinand, 1992, p. 114)

Bien que, lors de cette SAE, l'enseignante évalue les compétences en lien

⁶ Le *Planétaire* consiste en une SAE développée par le Centre de développement pédagogique [CDP] (2006). Il s'agit de la SAE que nous avons choisie dans le cadre de cette étude et à laquelle nous faisons référence pour expliquer la conception (fabrication) d'un modèle en trois dimensions (maquette).

avec la démarche de conception, un modèle est tout de même conçu afin de répondre au mandat, soit de construire un modèle en trois dimensions pour représenter les mouvements entre les astres (S-T-L). Il faut dire que cette SAE vise l'intégration de plusieurs concepts scientifiques et technologiques faisant appel à la fois à la démarche de conception et à la démarche de modélisation. Il est important de rappeler qu'au premier cycle du secondaire, seulement deux démarches sont enseignées de manière explicite, soit la démarche d'investigation et la démarche de conception. Dans notre situation, la démarche de modélisation s'avère implicite à travers la conception technologique.

Au cours de cette SAE, les apprenants doivent fabriquer un modèle en trois dimensions (maquette) représentant les mouvements du Soleil, de la Terre et de la Lune. C'est à travers une démarche de résolution de problème que les élèves font appel à leurs connaissances antérieures pour construire leurs nouveaux apprentissages dans une situation plus complexe, ouverte et intégratrice, c'est-à-dire qui favorise une diversité de solutions possibles en incorporant des savoirs provenant de l'univers Terre et espace ainsi que de l'univers technologique du PFEQ. Pour ce faire, ils doivent identifier le problème en ciblant les principaux éléments de la mise en situation. Ensuite, ils décrivent les mouvements de rotation et de révolution de la Terre et de la Lune en plus de représenter schématiquement le phénomène. Les élèves choisissent un mécanisme de transmission du mouvement entre les engrenages et les poulies. Finalement, un croquis du *Planétaire* doit se faire dans le cahier de

conception. Les élèves listent le matériel nécessaire à la réalisation de leur maquette. Lorsqu'ils terminent leur croquis, ils doivent le faire valider par l'enseignante ou par la technicienne en travaux pratiques. Elles vérifient si le croquis respecte les contraintes du cahier de conception. Elles posent des questions aux élèves pour vérifier comment ils réaliseront leur *Planétaire*. À la fin de cette SAE, un retour réflexif contribue à faire le point sur le modèle construit en posant un regard critique sur lui. Les élèves doivent nommer deux aspects positifs, deux aspects à améliorer de même que quelques modifications effectuées en cours de conception (selon le croquis de départ).

L'objectif de cette SAE est de permettre aux élèves d'expliquer divers phénomènes tels que le cycle du jour et de la nuit, les saisons et les éclipses grâce à la réalisation de ce modèle. Les astres seront en mesure de bouger grâce à un mécanisme de transmission du mouvement afin de visualiser en trois dimensions le phénomène. Les élèves disposent de quatre périodes consécutives de 75 minutes pour réaliser ce projet dans leur cours de S&T.

3.3 Les méthodes de collecte des données

Pour répondre à nos objectifs, nous avons opté pour quatre méthodes de collectes de données. La première méthode consiste en des entretiens individuels avec les élèves afin de recueillir leurs perceptions des modèles. À travers leurs discours,

nous relevons les rôles, fonctions et caractéristiques des modèles dans l'apprentissage. De plus, les entretiens semi-dirigés permettent de recueillir de l'information sur les contributions potentielles du modèle construit pour comprendre des concepts astronomiques. La deuxième méthode comporte des observations participantes menées par l'étudiante-chercheuse tout au long de la SAE, qui lui permettent de décrire les comportements observables des élèves (Karsenti et Savoie-Zajc, 2011). Lors des observations participantes, l'étudiante-chercheuse recueille de l'information sur le processus de création du modèle, c'est-à-dire des défis rencontrés lors de la conception, des ajustements réalisés et des réflexions des élèves. La troisième méthode consiste en des notes de terrain, dans lesquelles l'étudiante-chercheuse collige ses observations et ses réflexions afin de conserver des données pertinentes pour sa recherche (Fortin et Gagnon, 2016). « En recherche qualitative, on utilise fréquemment le journal de bord et les notes de terrain pour l'enregistrement des données pertinentes » (Fortin et Gagnon, 2016, p. 203). De cette manière, il est possible de relever les faits, les réactions, les impressions, voire même les réflexions des participants (Fortin et Gagnon, 2016).

Enfin, la quatrième méthode consiste à recueillir des informations à partir du cahier de conception des élèves et ainsi observer leurs conceptions initiales (préconceptions) quant aux mouvements de rotation et de révolution de la Terre et de la Lune. Ces conceptions nous permettront de répondre à notre deuxième objectif de recherche, soit en déterminant les contributions potentielles du modèle dans

l'appréhension des concepts.

3.3.1 Les entretiens semi-dirigés

Les entretiens semi-dirigés contribuent à recueillir des informations à propos des participants sur leurs pensées, leurs vécus et leurs sentiments en vue de comprendre le phénomène en profondeur (Fortin et Gagnon, 2016). Le canevas des entretiens (Appendice C) comprend des questions ouvertes nous permettant ainsi de rassembler, d'une part, les perceptions des élèves à l'égard des concepts, des modèles et, d'autre part, les contributions potentielles du modèle dans l'appréhension des concepts de la SAE. À cet égard, certaines questions présentes dans le canevas d'entretiens proposent aux apprenants de réfléchir sur des éléments plus ardues de la S&T et de verbaliser leur compréhension des phénomènes étudiés. À travers leur discours, nous relevons les rôles, fonctions et caractéristiques des modèles en plus d'amasser de l'information concernant leur processus menant à la construction du modèle. Les entretiens servent à recueillir l'expérience vécue et racontée par les participants (Fortin et Gagnon, 2016). Pour ce faire, deux périodes de 75 minutes sont consacrées aux entretiens semi-dirigés. Ceux-ci s'effectuent à la suite de la SAE, c'est-à-dire en janvier 2018. À ce moment, nous nous entretenons individuellement avec chaque apprenant à tour de rôle dans un local annexe afin que l'enseignante puisse poursuivre ses cours de S&T avec le reste de la classe. Les entretiens durent environ 10 à 15 minutes par élève.

3.3.2 Les observations participantes

L'observation participante permet aux chercheurs de « comprendre les comportements et les expériences des personnes comme ils se présentent dans leurs milieux naturels » (Fortin et Gagnon, 2016, p. 201). Ainsi, cette méthode contribue à mieux appréhender certaines situations, car l'étudiante-chercheuse observe la réalité des participants dans toutes ses subtilités (Bastien, 2007). De telles observations servent à consolider les données recueillies lors des entretiens en décrivant le comportement observable des élèves au cours de l'immersion de l'étudiante-chercheuse dans la classe de S&T (Bastien, 2007). L'observation est nécessaire pour décrire le climat dans lequel les élèves se situent afin de mieux comprendre et analyser les données recueillies (Fortin et Gagnon, 2016), et elle nous permet de vérifier les interactions des participants dans leur quotidien (Bardin, 1989; Karsenti et Savoie-Zajc, 2000). Celle-ci s'effectue tout au long de la SAE afin que l'étudiante-chercheuse puisse recueillir de l'information sur les défis rencontrés lors de la conception du modèle, les ajustements nécessaires à la réalisation de leur modèle ainsi que sur les réflexions et questionnement des élèves.

3.3.3 Les notes de terrain

Selon Baribeau (2005), il est essentiel, lorsqu'une recherche utilise des observations comme méthode de collecte de données, de recourir à des notes de terrain. Comme nous avons la faculté d'oublier facilement, les notes de terrain sont primordiales pour être en mesure de se souvenir des événements et de leur nature (Baribeau,

2005). Pour ce faire, tout au long de la SAE, nous prenons des notes descriptives sur nos observations, nos questionnements et nos réflexions. Celles-ci permettront donc de conserver une grande quantité d'information pour appuyer nos résultats.

3.3.4 Le cahier de conception

Le cahier de conception (Appendice C) est un outil essentiel à la réalisation de la SAE. Il constitue un élément à considérer pour la collecte de données, car ce dernier contient des informations sur le raisonnement des élèves tout au long de la résolution de problème. À cet effet, les participants doivent identifier le problème, décrire les mouvements entre les astres, mijoter et évaluer des idées, représenter leur maquette sous forme d'un croquis, prévoir le matériel nécessaire et, finalement, procéder à un retour sur leur modèle en repérant les aspects positifs, les points à améliorer et les modifications effectuées. Il nous permet d'identifier les informations manquantes de celles présentes dans le document (Bardin, 1989), de voir leurs conceptions premières des mouvements relatifs entre les astres en plus de schématiser leurs idées avant de fabriquer leur maquette en trois dimensions. L'analyse des cahiers de conception s'avère nécessaire pour répondre à nos objectifs en relevant les contributions potentielles des modèles dans l'appréhension des concepts. À cet égard, ils servent d'outil pour déterminer les conceptions des élèves et suivre leur progression durant la SAE.

Enfin, Karsenti et Savoie-Zajc (2000) soulignent que « [l]'entrevue,

l'observation et l'utilisation de matériel écrit constituent des modes complémentaires de collecte de données » (p. 187) nous assurant ainsi un certain contrôle de la rigueur scientifique de cette recherche (Fortin et Gagnon, 2016). La triangulation propose d'explorer diverses perspectives afin de comprendre le phénomène en profondeur (Karsenti et Savoie-Zajc, 2000). Dans le cadre de cette recherche, cette triangulation se concrétise par les divers modes de collectes de données employés (entretiens, observations, analyse de documents et notes de terrain). La section suivante présente les modalités d'analyse menant au traitement des données.

3.4 L'analyse et le traitement des données

Une fois les données recueillies, elles sont analysées, puis comparées afin de constater les similitudes et les divergences entre les élèves en ce qui concerne les rôles, fonctions, caractéristiques et les contributions potentielles des modèles dans l'appréhension des concepts. Pour analyser les données, nous optons pour l'analyse de contenu, qui « est un ensemble de techniques d'analyse des communications utilisant des procédures systématiques et objectives des descriptions du contenu des messages » (Bardin, 1989, p. 42). Plus précisément, nous allons procéder à une analyse thématique qui s'avère souvent utilisée pour des études portant sur les motivations, les opinions, etc. (Bardin, 1989) et pour les devis de recherche descriptive qualitative (Fortin et Gagnon, 2016). Ce type d'analyse vise à faire ressortir « un portrait d'ensemble d'un corpus » (Paillé et Mucchielli, 2012 p. 17) en

regroupant des idées sous des thèmes.

Pour que les thèmes émergent, il faut identifier des « noyaux de sens », c'est-à-dire les idées, les mots ou les attitudes des participants afin de relever leur fréquence d'apparition en plus d'établir des liens avec les objectifs de cette recherche (Bardin, 1989). L'analyse thématique contribue à regrouper des données sous divers thèmes en leur attribuant une unité de sens afin de coder les thèmes (Karsenti et Savoie-Zajc, 2011; Paillé et Mucchielli, 2012) : « Le sens peut être défini comme l'expérience humaine (réelle ou imaginée) à laquelle peut être rapporté un énoncé (mot ou ensemble de mots) qui en permet la compréhension » (Paillé et Mucchielli, 2012, p. 61). Les auteurs indiquent qu'analyser qualitativement, c'est donc « observer, percevoir, ressentir, comparer, nommer, juger, étiqueter, etc. » (p. 61). Les questions ouvertes et les entretiens individuels ou de groupes sont souvent analysés à l'aide de thèmes (Bardin, 1989), ce qui rend cette méthode d'analyse d'autant plus pertinente dans le cadre de cette recherche.

L'analyse des données commence par la transcription des entretiens dans lesquels l'utilisation de noms fictifs permet de conserver l'anonymat des élèves participants. L'analyse thématique se réalise en trois étapes. Premièrement, nous effectuons une lecture critique des verbatim pour relever les éléments de convergence et de divergence afin de former les thèmes (Gagnon, 2015; Maxwell, 1999) et ainsi dresser des portraits détaillés pour chaque participant. Cette étape consiste en une

analyse horizontale des données. Deuxièmement, une analyse verticale permet de revoir les thèmes pour en faire une synthèse (Maxwell, 1999). Nous rassemblons les éléments de convergence et de divergence entre les participants pour former des thèmes globaux (Bardin, 1989). Troisièmement, l'élaboration d'un tableau synthèse des thèmes et des données marquantes met fin à l'analyse.

En somme, ce chapitre portant sur l'aspect méthodologique présente les devis de cette recherche descriptive, interprétative et exploratoire. Les modalités de recrutement des participants sont présentées de même que nos choix relatifs à la SAE. Nous précisons les outils de collecte de données de même que le type d'analyse préconisée. Ainsi, les entretiens semi-dirigés, les observations participantes, les notes de terrain et les cahiers de conception des élèves permettent de recueillir de l'information. Une analyse thématique des données sert à répondre aux objectifs de cette recherche. Le chapitre suivant dévoile les résultats de cette étude segmentés sous forme de portraits décrivant chacun des neuf participants pour ensuite mettre en commun les informations afin de procéder à une analyse globale.

Chapitre 4

Les résultats, l'analyse et l'interprétation

Ce chapitre présente les principaux résultats découlant des données recueillies grâce aux entretiens semi-dirigés, aux observations participantes, aux notes de terrain et aux cahiers de conception des élèves. Pour ce faire, nous avons dressé le portrait des neuf participants en fonction des données récoltées. Une analyse globale et une interprétation croisée de ces résultats mettent fin à ce chapitre.

Avant de présenter le portrait de chaque participant, il importe de rappeler les objectifs de cette recherche. Cette étude vise à décrire la perception d'élèves du secondaire à l'égard des modèles et de la démarche de modélisation pour comprendre des concepts particulièrement abstraits en S&T. Elle propose également de décrire et d'expliquer les contributions potentielles des modèles dans l'appréhension de ces mêmes concepts en S&T.

4.1 Le portrait d'Olivier

Olivier a une préférence pour les mathématiques. Il démontre tout de même de l'intérêt pour le projet du *Planétaire*, d'une part en manifestant son engouement à travailler en équipe et, d'autre part, en mentionnant son désir de renouveler cette expérience dans ses cours de S&T. Prférant les conceptions (démarche de conception) à la théorie (cours magistraux), il lui semble plus difficile de retenir une grande quantité d'information par cœur que de construire un prototype.

4.1.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T

Pour Olivier, un modèle agit en tant que référent afin de lui donner des idées. Il sert de guide pour construction son propre prototype. Dans ce contexte, Olivier nous parle d'un d'une maquette (modèle) du *Planétaire* que son enseignante de S&T avait montré en classe au début de l'année scolaire. Ce modèle lui a permis de se baser sur quelque chose afin de réaliser la tâche demandée dans la SAE.

Au moment de lui demander d'autres exemples de modèle, il hésite, puis mentionne qu'il a déjà fabriqué une catapulte au primaire. Il pense également en avoir réalisé d'autres, mais il lui semble difficile de s'en rappeler. Pour Olivier, la catapulte représente un modèle. En effet, il s'agit d'un modèle réduit, c'est-à-dire une représentation à plus petite échelle.

Par le discours d'Olivier lors de l'entretien, il est possible de dégager certains attributs des modèles. Il mentionne que la maquette n'est pas à l'échelle, considérant que les objets à représenter, dans ce cas, sont le Soleil, la Terre et la Lune. Malgré cette simplification, les sens de rotation et de révolution entre les astres sont respectés, ce qui rend le *Planétaire* précis à l'égard des mouvements.

4.1.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T

Au début, Olivier semble incertain de la contribution de la maquette dans son apprentissage. Selon lui, il maîtrise bien les phénomènes rattachés à cette SAE. Après

mure réflexion, il mentionne qu'avec le modèle, il est « *plus facile de savoir les mouvements* ». Le fait d'avoir lui-même conçu la maquette lui permet d'avoir une meilleure compréhension des mouvements plus spécifiquement en ce qui concerne les sens de rotation entre les astres.

La conception initiale d'Olivier à l'égard des mouvements de rotation et de révolution de la Terre et de la Lune est juste si l'on se réfère à la figure 4 ci-dessous. Cependant, la révolution de la Lune autour de la Terre n'est ni illustrée ni expliquée dans son cahier de conception.

Planifier son scénario de conception

Pour réaliser un planétaire, tu dois posséder quelques connaissances. Avant de mijoter tes idées, assure-toi de bien comprendre le phénomène à représenter.

Décris les mouvements de rotation et de révolution de la Terre et de la Lune.

Schéma :

La lune fait une rotation lorsque la terre fait le mouvement de révolution au tour du soleil.

Figure 4. Extrait du cahier de conception d'Olivier (p. 4)

Selon Olivier, le manque d'idées demeure l'aspect le plus difficile au cours de la conception. En fait, il sait comment réaliser la tâche, car un modèle lui avait été présenté auparavant. Cependant, Olivier doit imaginer une autre solution, car le matériel utilisé diffère du modèle présenté. À l'inverse, la mise en application de son plan, c'est-à-dire la construction de la maquette, lui a semblé assez facile. Néanmoins, plusieurs changements et ajustements ont été nécessaires pour mener à terme le projet, entre autres en ce qui concerne le déplacement des astres afin de bien respecter les mouvements entre le Soleil, la Terre et la Lune (figure 5).

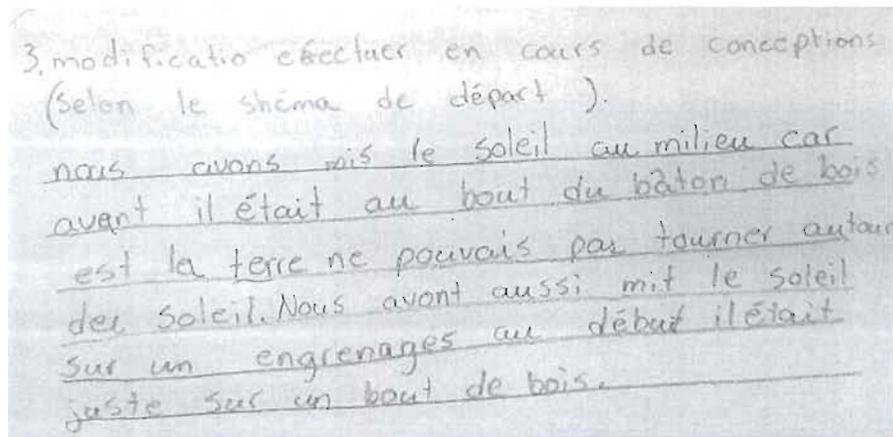


Figure 5. Extrait du cahier de conception d'Olivier (p. 7)

Selon le croquis du *Planétaire* d'Olivier (figure 6), la Terre ne tourne pas autour du Soleil. Il s'agit d'un aspect de la conception qui a été revu. Durant les observations, l'étudiante-chercheuse constate qu'il a déplacé le Soleil pour le mettre au centre, soit vis-à-vis le goujon. De cette manière, le Soleil se retrouve au centre du

morceau de bois et la Terre tourne autour de lui. De plus, il est possible de constater que la Terre va demeurer immobile sur le croquis (figure 6), car il manque un engrenage pour transmettre le mouvement et ainsi respecter les contraintes. Pour ce faire, l'élève a placé un engrenage sous le Soleil (au-dessus du goujon) pour transmettre le mouvement à la Terre. Cet ajustement est observé en classe.

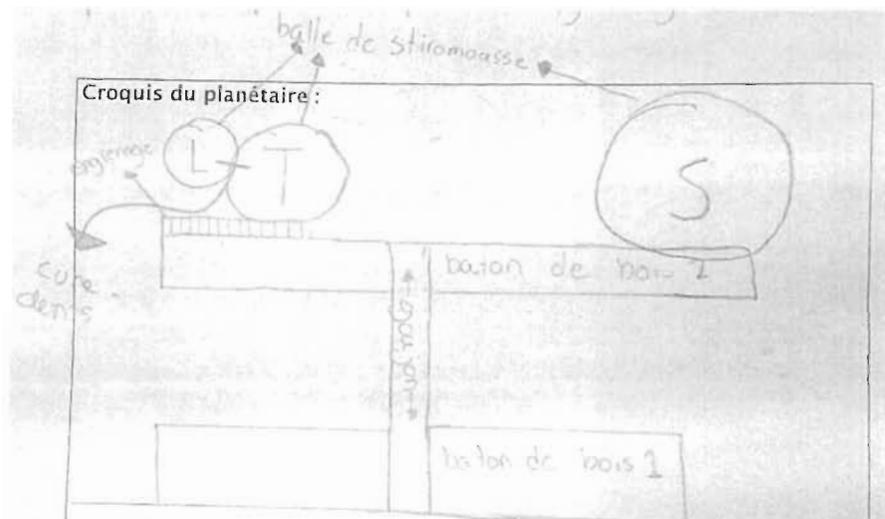


Figure 6. Extrait du cahier de conception d'Olivier (p. 6)

4.2 Le portrait d'Alexandra

Selon Alexandra, l'étude des séismes et des catastrophes naturelles est assez facile à apprendre, car il s'agit de concepts ayant des effets plus directs sur les êtres humains, en plus de faire les manchettes. À l'inverse, les thèmes portant sur les astres ou les satellites lui semblent plus difficiles à cause de toutes les informations à

apprendre par cœur, comme le nom des planètes.

4.2.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T

Pour Alexandra, le mot « modèle » peut avoir plusieurs sens. Dans un premier temps, un modèle peut être une personne sur qui nous pouvons prendre exemple, comme c'est le cas pour « un élève modèle [...] qui est à son affaire ». Dans un deuxième temps, il signifie la reproduction d'une image ou d'un objet matériel. Alexandra considère les modèles comme des représentations dont on peut « [s]'inspirer, regarder ou admirer » pour produire autre chose. Ainsi, elle illustre ses propos en parlant de sa bouteille d'eau et du fait qu'il est possible de « recopier [c]e modèle ». Elle fait également mention des différentes maquettes exposées dans sa classe de S&T desquelles elle s'est justement inspirée pour concevoir son *Planétaire* et appliquer les couleurs sur les astres en polystyrène.

Lorsque l'enseignante titulaire de la classe de S&T a présenté le projet, Alexandra ne savait pas comment s'y prendre, elle était paniquée. Au fur et à mesure qu'elle trouvait des solutions, ses idées se mettaient en place et la SAE est finalement devenue une expérience agréable. Bien qu'Alexandra ait eu de la difficulté au plan technique pour faire tourner le mécanisme à l'aide des poulies et de la courroie, elle semble avoir apprécié ce projet de conception.

Plusieurs modifications demeurent nécessaires pour qu'Alexandra rende son

Planétaire fonctionnel et représentatif des mouvements entre le Soleil, la Terre et la Lune. Elle réussit à élaborer un schéma de son plan d'action, mais lors de la mise en application, certains obstacles se sont placés à travers son chemin. De plus, pour respecter les sens de rotation et de révolution de la Terre, Alexandra prend la décision de croiser l'élastique afin de transmettre un mouvement inversé.

4.2.2 *Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T*

La conception du *Planétaire* a permis à Alexandra « d'éclaircir [s]es idées » en l'aidant à « voir » le phénomène. Se caractérisant elle-même de « visuelle », elle souligne qu'elle préfère avoir un accès plus direct au phénomène pour comprendre entre autres grâce à des modèles. À cet effet, elle suggère qu'il y ait davantage de technologie dans les cours de S&T pour capter son attention. En utilisant des ressources numériques telles que des visites virtuelles, des sites d'observation et des simulations, les élèves pourraient être en mesure de « voir » davantage les phénomènes.

Comme Alexandra le raconte durant l'entretien, la construction du *Planétaire* l'a amenée à réviser sa conception relative au mouvement entre les astres, passant du géocentrisme à l'héliocentrisme. Effectivement, la figure 7 montre un extrait du cahier de conception d'Alexandra où il est possible de constater que la Terre se situe au centre tout en étant plus volumineuse que le Soleil. Lors des observations participantes, Alexandra avait en main un document de notes de cours conçues par

l'enseignante (Appendice D) dans lequel le Soleil n'est représenté qu'en partie. Bien qu'il soit clairement indiqué que le Soleil soit plus gros que la Terre, cette dernière semble être particulièrement volumineuse. Alexandra propose, dans son cahier de conception, un modèle issu de ses observations montrant la Terre disproportionnée par rapport au Soleil. En revanche, le modèle qu'elle a conçu respecte les grandeurs propres à chaque astre. Ainsi, le concept de dimension des astres a été révisé à travers la construction du modèle où elle a corrigé son croquis (figure 8). Les différences entre les deux représentations montrent un changement de conceptions (figures 7 et 8).



Planifier son scénario de conception

Pour réaliser un planétaire, tu dois posséder quelques connaissances. Avant de mijoter tes idées, assure-toi de bien comprendre le phénomène à représenter.

Décris les mouvements de rotation et de révolution de la Terre et de la Lune.

Schéma :

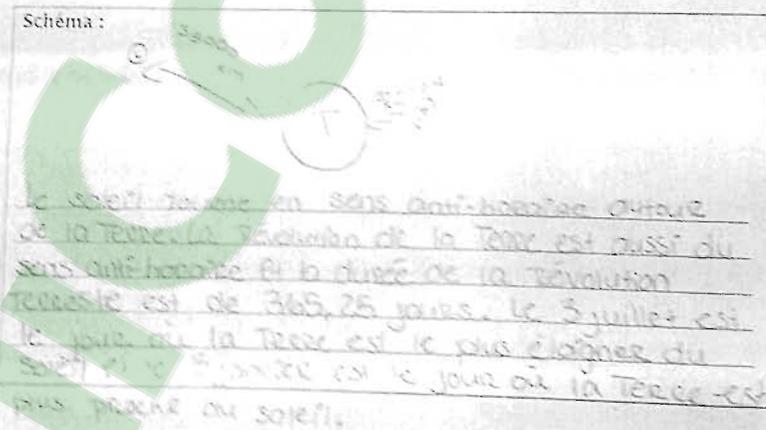


Figure 7. Extrait du cahier de conception d'Alexandra (p. 4)

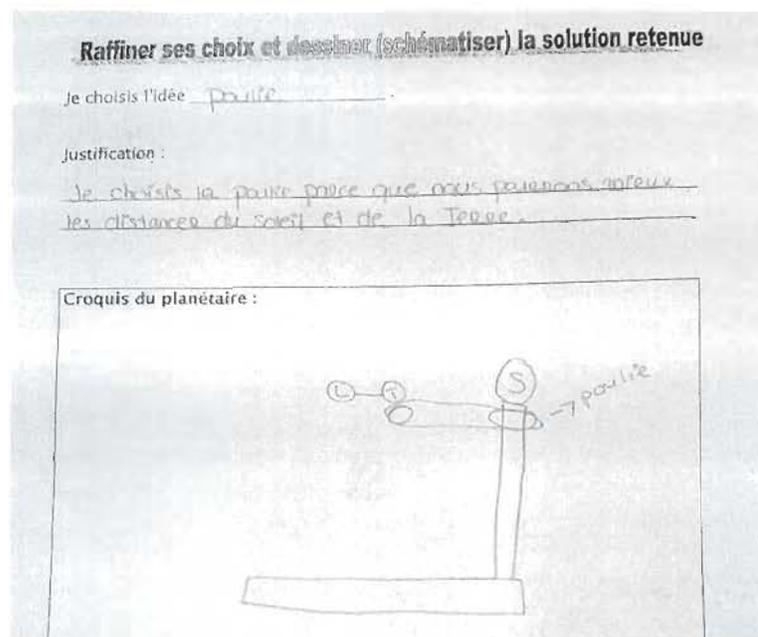


Figure 8. Extrait du cahier de conception d'Alexandra (p. 6)

Enfin, la construction du *Planétaire* lui a permis de réviser sa conception de la rotation et de la révolution entre le Soleil, la Terre et la Lune. Par contre, certaines de ses questions demeurent sans réponse, dont : *Pourquoi il y a du mouvement? Pourquoi nous ne sentons pas ce mouvement sur la Terre?* Au terme de ce projet, le modèle permet de comprendre seulement une partie du phénomène, soit la partie liée à l'intention pédagogique de l'enseignante. Comme le phénomène n'est pas expliqué dans sa globalité ni dans toute sa complexité, le modèle demeure une simplification qui ne représente pas l'ensemble de la réalité.

4.3 Le portrait de Charles

Charles apprécie particulièrement les mathématiques, les S&T ainsi que les sports. Même s'il préfère les laboratoires, ce dernier manifeste un certain intérêt pour les projets de conception.

4.3.1 *La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T*

Selon Charles, un modèle est « une chose qu'on peut regarder et prendre exemple sur ». Pour lui, il s'agit d'un référent sur lequel on peut se fier autant comme personne que comme objet. Ce qui semble le plus ardu pour Charles est l'élaboration du croquis pour construire sa maquette : « Le plus difficile c'est d'y penser avant de le faire ».

4.3.2 *Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T*

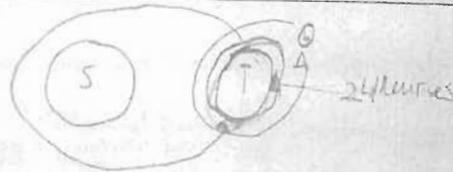
Pour Charles, les concepts les plus faciles en S&T sont ceux en lien avec l'espace (les météores, le système solaire, etc.). C'est pourquoi il ne pense pas que la conception d'un *Planétaire* ait contribué à comprendre les mouvements entre le Soleil, la Terre et la Lune. Il maîtrisait déjà bien ces concepts (figures 9 et 10). Pourtant, il souligne que la construction de la maquette consolide ses apprentissages : « Je trouve que c'est mieux de le faire soi-même [...] On comprend mieux quand c'est fait par nous autres ». Cette conception lui a permis de visualiser le phénomène grâce au mécanisme de transmission du mouvement en voyant les astres se mouvoir simultanément.

Planifier son scénario de conception

Pour réaliser un planétaire, tu dois posséder quelques connaissances. Avant de mijoter tes idées, assure-toi de bien comprendre le phénomène à représenter.

Descris les mouvements de rotation et de révolution de la Terre et de la Lune.

Schéma :



Terre va tourner autour du Soleil, cela va lui prendre 365,25 jours = 1 ans. Sa rotation va lui prendre 24 heures = 1 jour. La lune va tourner autour de la Terre.

Figure 9. Extrait du cahier de conception de Charles (p. 4)

Croquis du planétaire :

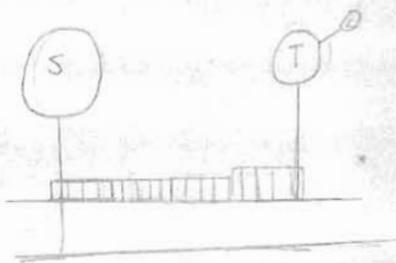


Figure 10. Extrait du cahier de conception de Charles (p. 6)

4.4 Le portrait de Jade

En S&T, Jade préfère les thèmes scientifiques ou technologiques dans lesquels elle peut construire des prototypes ou des maquettes. Au contraire, elle éprouve de la difficulté pour des sujets qu'elle considère être plus théoriques, comme l'atmosphère : « Quand il y a des constructions, moi j'aime plus ça, c'est plus facile, mais la théorie c'est plus dur ». Selon elle, il devrait y avoir plus d'images et de démonstrations dans ses cours de S&T pour qu'elle puisse « voir » les phénomènes. Les modèles agissent en tant qu'intermédiaire entre la théorie abstraite et le visuel concret pour substituer un phénomène difficilement accessible (Drouin, 1998).

4.4.1 *La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T*

Jade définit un modèle comme étant une personne ou un objet dont nous pouvons nous inspirer pour réaliser quelque chose. Pour elle, il sert à imaginer, se représenter et visualiser un phénomène dans l'optique de favoriser l'appréhension des concepts : « Je comprends mieux quand je le vois que quand on me l'explique ». La conception du *Planétaire* a aidé Jade à consolider et à compléter ses apprentissages. Elle considère que ce projet représente un défi de réinvestissement des connaissances acquises en début d'année. Bien que les idées semblent être difficiles à trouver, l'assemblage du modèle ne demeure toutefois pas sans embuche.

4.4.2 *Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T*

Selon Jade, le *Planétaire* permet de « voir » les mouvements entre le Soleil, la

Terre et la Lune, ce qui l'aide à appréhender le phénomène, bien qu'elle disait déjà le maîtriser au départ. Le fait de l'avoir construit par elle-même semble avoir été tout un défi, d'une part, pour trouver des idées de conception et, d'autre part, pour faire fonctionner adéquatement le *Planétaire*. Par contre, à la fin de la SAE, elle ressent la satisfaction d'avoir mené le projet à terme.

Les figures 11 et 12 montrent un changement de conception de la part de Jade. Sur la figure 11, il est possible de constater qu'elle pense que le Soleil tourne autour de la Terre et que la Terre est plus volumineuse que le Soleil. Cette conception peut provenir en partie du document de notes de cours conçues par l'enseignante (Appendice D) comme pour Alexandra. En revanche, le croquis du *Planétaire* (figure 12) illustre le Soleil comme étant plus volumineux que la Terre en plus de démontrer un système héliocentrique plutôt que géocentrique comme sur la figure 11.

Planifier son scénario de conception

Pour réaliser un planétaire, tu dois posséder quelques connaissances. Avant de mijoter tes idées, assure-toi de bien comprendre le phénomène à représenter.

Décris les mouvements de rotation et de révolution de la Terre et de la Lune.

Schéma :



Le soleil tourne en sens d'horloge autour de la Terre. La révolution de la Terre est aussi du sens anti-horloge et la durée de la révolution terrestre est de 365,25 jours. Le 3 juillet est le jour où la terre est plus éloignée du soleil et le 3 janvier est le jour où la terre est plus proche du soleil.

Figure 11. Extrait du cahier de conception de Jade (p. 4)

Croquis du planétaire :

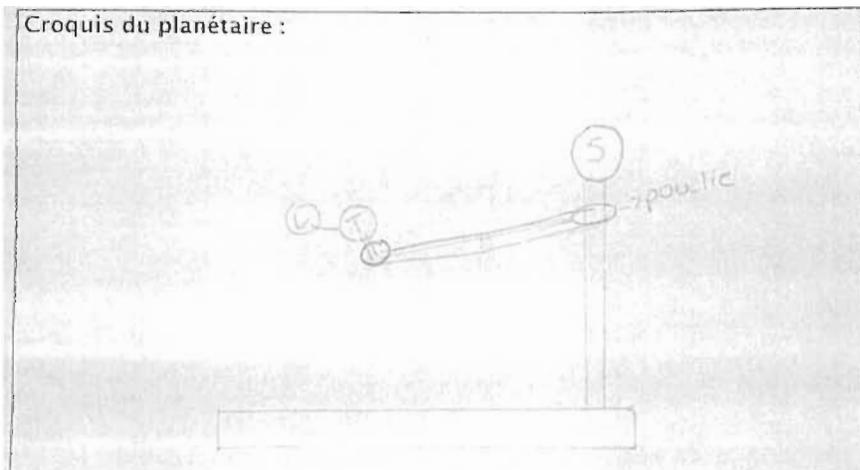


Figure 12. Extrait du cahier de conception de Jade (p. 6)

4.5 Le portrait de Marc-Antoine

Selon Marc-Antoine, les concepts en lien avec l'espace (planètes, satellites, mouvements entre les astres, etc.) demeurent assez simples, contrairement au thème de l'atmosphère. En fait, l'élève souligne qu'il y a davantage d'explications à donner, beaucoup d'éléments théoriques et plusieurs mots inconnus dans l'apprentissage de l'atmosphère que dans celui de l'espace, ce qui contribue à sa complexité. Pour faciliter son apprentissage, il propose qu'il y ait « plus d'objets pour démontrer ». Il comprend, grâce aux explications de l'enseignante, mais « ça nous rentrerait plus dans la tête s'il y avait des exemples pour expliquer l'atmosphère ».

4.5.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T

Pour Marc-Antoine, un modèle, « [c]'est quelque chose qui va servir à démontrer une chose qu[e] [l']on veut expliquer ». En ce qui concerne le *Planétaire*, il permet d'appréhender les concepts relatifs aux mouvements entre le Soleil, la Terre et la Lune. Il « sert d'appui visuel pour expliquer », pour démontrer et pour « voir ».

4.5.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T

La fabrication du *Planétaire* a permis à Marc-Antoine de valider certaines conceptions à l'égard des mouvements entre les astres, dont les sens de rotation. Ce dernier concept demeurait assez vague pour lui avant de réaliser ce projet. La figure 13 montre les conceptions initiales de Marc-Antoine au sujet des rotations et des révolutions de la Terre et de la Lune.

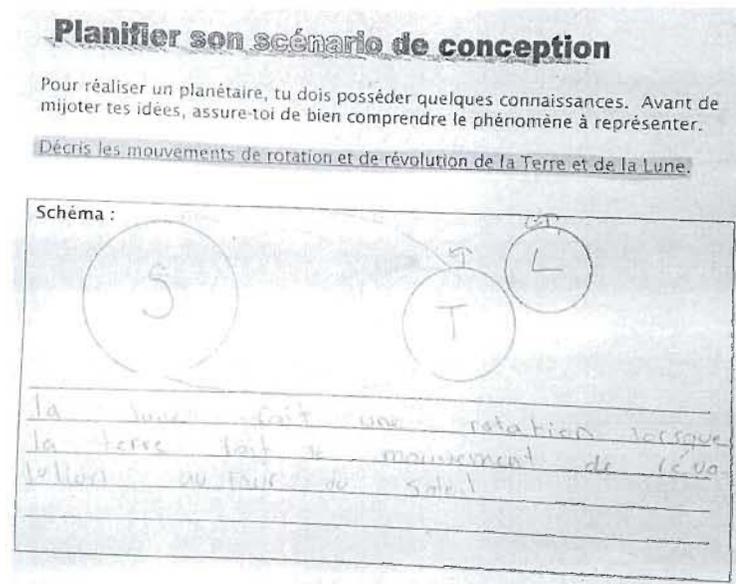


Figure 13. Extrait du cahier de conception de Marc-Antoine (p. 4)

Lors de la fabrication de la maquette, quelques ajustements ont été nécessaires pour respecter les contraintes; d'une part, en déplaçant le Soleil vers une extrémité du morceau de bois pour permettre à la Terre de tourner autour du Soleil (figure 14) et, d'autre part, en déposant le Soleil sur un engrenage afin de transmettre le mouvement dans le mécanisme. Enfin, selon Marc-Antoine, la construction du *Planétaire* contribue à démontrer les mouvements entre les astres. La visualisation du phénomène facilite donc sa compréhension.

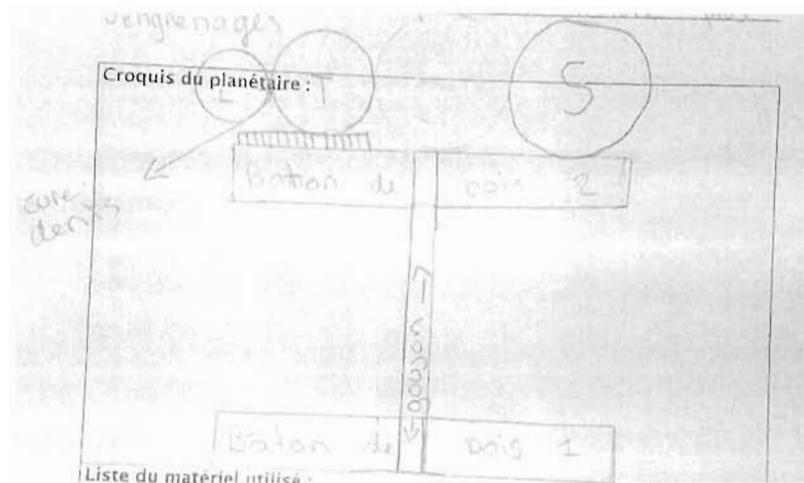


Figure 14. Extrait du cahier de conception de Marc-Antoine (p. 6)

Comme Olivier, Marc-Antoine place le Soleil et la Terre aux extrémités du bâton de bois. De cette manière, lorsque le Soleil tourne, la Terre tourne également ce qui ne permet pas de bien représenter la révolution de la Terre autour du Soleil. Lors des observations participantes, l'étudiante-chercheuse constate que Marc-Antoine a réalisé plusieurs ajustements découlant de ses observations. C'est à travers des essais et des erreurs qu'il finit par mettre le Soleil au centre et ajoute des engrenages afin de respecter les mouvements de rotations et de révolution.

4.6 Le portrait de Marie-Ève

Marie-Ève éprouve beaucoup d'intérêt et de facilité pour la S&T. Elle suggère tout de même d'avoir des petites planètes (sous forme de modèles réduits) en main lors des explications en classe « pour voir à quoi elles ressemblent ». Celles-ci

contribueraient à pallier le fait que sur les images, on ne voit pas tout. Ainsi, l'utilisation d'un objet physique concret pour représenter quelque chose lui semble d'autant plus importante que de simplement voir les phénomènes en deux dimensions.

4.6.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T

Marie-Ève éprouve de la difficulté à définir ce qu'est un modèle. Peut-être qu'elle ne savait simplement pas comment élaborer une définition claire. Après lui avoir expliqué, elle donne des exemples concrets tels que des images et des schémas que son enseignante de S&T utilise dans son cours. De là, elle est en mesure de vulgariser qu'un modèle sert à mieux comprendre un phénomène étudié. Plus précisément, dans le cadre de ce projet, il permet d'appréhender les mouvements de révolution et de rotation entre les astres.

4.6.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T

Lors de la réalisation du croquis du *Planétaire* (figure 15), Marie-Ève explique qu'elle éprouve quelques difficultés. En effet, comme elle l'a mentionné dans l'entretien, il fallait qu'elle dessine un schéma vu de côté sans avoir une idée claire du produit final, à savoir s'il respecte bel et bien les contraintes. Ainsi, il semble laborieux de visualiser mentalement le *Planétaire* qu'elle veut fabriquer pour ensuite le dessiner dans son cahier de conception.

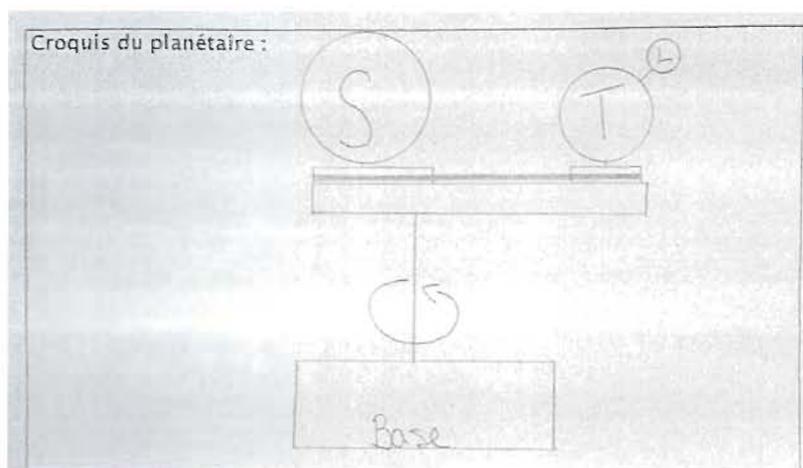


Figure 15. Extrait du cahier de conception de Marie-Ève (p. 6)

Une fois le croquis approuvé par l'enseignante de S&T, Marie-Ève passe à la conception. Quelques modifications contribuent à la construction d'un modèle le plus représentatif possible du phénomène étudié. Premièrement, elle déplace le bâton de bois pour que le Soleil qui est collé sur la poulie soit directement au-dessus du goujon (bâton vertical dans la figure 15). Ainsi, le goujon peut entrer dans la poulie et transmettre un mouvement à la Terre pour qu'elle puisse tourner sur elle-même grâce à la seconde poulie. Deuxièmement, Marie-Ève procède à l'ajustement de l'élastique, agissant à titre de courroie : « [O]n l'a croisé au lieu de le laisser droit parce que sinon ça ne tournait pas dans le bon sens ». Troisièmement, elle a tenté d'éloigner la Terre du Soleil malgré le fait que l'élastique ne permette pas de s'étirer suffisamment pour respecter une distance adéquate entre les deux astres.

Pour Marie-Ève, le *Planétaire* permet de « voir » le phénomène. Il contribue également à sa compréhension, car elle peut manipuler son modèle en actionnant le mécanisme et saisir « comment ça marche ». Cette conception soutient ses apprentissages en la plongeant dans l'univers et en la faisant interagir dans celui-ci.

La figure 16 du cahier de conception de Marie-Ève nous montre qu'elle maîtrise bien les mouvements de révolution et de rotation de la Terre et de la Lune. Par contre, elle oublie le mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil. Lors de l'entretien, Marie-Ève mentionne qu'elle comprend bien la théorie en lien avec l'univers Terre et espace.

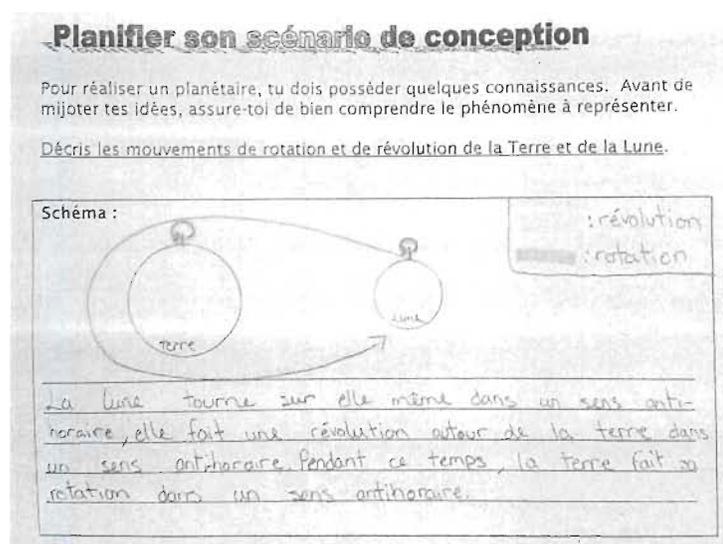


Figure 16. Extrait du cahier de conception de Marie-Ève (p. 4)

4.7 Le portrait de Camille

Dans l'ensemble, Camille semble avoir apprécié le projet de conception et de modélisation, car il lui a permis d'apprendre à partir de ses erreurs. L'ajustement des diverses pièces du mécanisme fait en sorte que ses apprentissages lui paraissent d'autant plus riches et concrets. Durant l'entretien, Camille manifeste son intérêt à refaire une telle conception dans ses cours de S&T étant donné qu'elle aime particulièrement les projets nécessitant des manipulations.

4.7.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T

Lors de l'entretien, Camille définit un modèle comme étant un objet qui aide à produire ou à reproduire quelque chose. Selon elle, le *Planétaire* ainsi que tous les dessins que son enseignante de S&T reproduit au tableau s'avèrent être des modèles, car ils servent à « montrer » des phénomènes.

La SAE représente un défi pour Camille. Malgré le fait qu'elle ait une certaine facilité en S&T, cette conception n'a pas été réalisée sans embuche. Durant l'entretien, Camille exprime son intérêt pour ce type de projet, tout en mettant l'accent sur certaines difficultés éprouvées en cours de route. Étant donné la façon dont elle place l'élastique qui relie les deux poulies, la Terre effectue une rotation sur elle-même une fois sur deux. Comme le souligne Camille dans son document et lors des observations participantes, un des aspects à améliorer dans son modèle est le mouvement de rotation plutôt irrégulier de la Terre. Camille comprend que ce

mouvement n'est pas discontinu dans l'espace, ce qui fait que sa maquette ne le représente pas de manière précise.

4.7.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T

Malgré le fait que Camille mentionne que les modèles servent à mieux comprendre, cette dernière souligne que le *Planétaire* n'a « pas vraiment » contribué à sa compréhension des mouvements relatifs entre le Soleil, la Terre et la Lune. En effet, elle a mentionné qu'elle saisissait déjà les concepts théoriques avant même de réaliser ce projet. Néanmoins, les termes « rotation » et « révolution » lui semblent parfois porter à confusion au moment de parler du mouvement de la Lune autour de la Terre (figure 17). Le sens de rotation et le sens de révolution de la Terre et de la Lune ne sont ni représentés, ni expliqués dans la planification du scénario de conception.

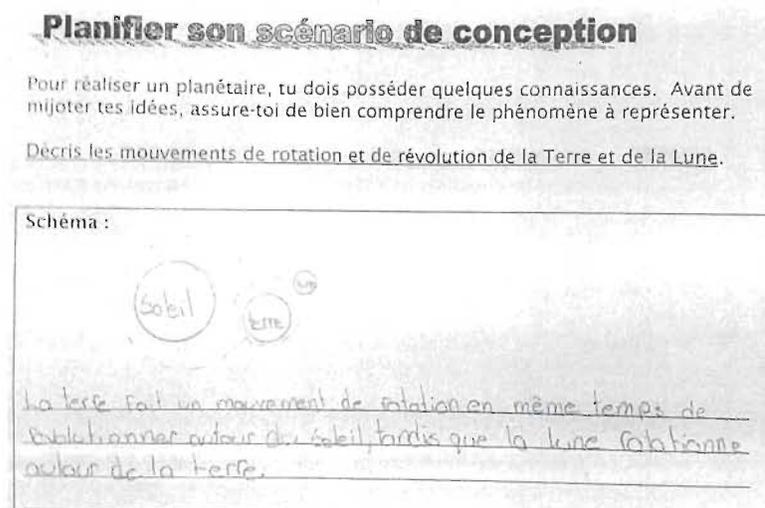


Figure 17. Extrait du cahier de conception de Camille (p. 4)

4.8 Le portrait de Julien

L'intérêt de Julien pour les S&T repose sur les manipulations : « c'est ça que je trouve le plus *l'fun* des sciences ». Comme il le souligne lors de l'entretien, la construction du *Planétaire* l'amène à davantage aimer les S&T.

4.8.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T

Julien définit la fonction d'un modèle comme servant à représenter quelque chose. Pourtant, il s'avère difficile pour lui de cibler des exemples concrets. En lui demandant si le *Planétaire* est un modèle, il semble faire le lien entre sa définition et les rôles des modèles. Vers la fin de l'entretien, Julien explique que le *Planétaire* sert à « voir » ce que l'on tente de s'imaginer. Comme il n'est pas possible de sortir de la Terre pour apercevoir les mouvements dans l'espace, la conception du *Planétaire* contribue justement à représenter le phénomène à l'aide d'une maquette en trois dimensions, dans ce cas-ci. Certaines modifications mineures ont été observées pour compléter le *Planétaire* afin de perfectionner son modèle pour représenter convenablement le phénomène.

4.8.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T

Julien apprécie particulièrement les projets de conception. Selon lui, les manipulations lui permettent de comprendre les phénomènes en profondeur. Malgré cette contribution potentielle, le *Planétaire* ne semble pas avoir participé de manière signi-

ficative à améliorer sa compréhension des mouvements relatifs entre le Soleil, la Terre et la Lune, car il maîtrisait préalablement ces concepts de rotation et de révolution comme le démontrent les figures 18 et 19. Toutefois, il manifeste le désir de faire d'éventuelles constructions dans le cadre de son cours de S&T. Comme il le souligne dans son entretien, durant les explications théoriques, il demeure passif dans son apprentissage (enseignement magistral), tandis que lors d'un projet de conception, il est actif.

Planifier son scénario de conception

Pour réaliser un planétaire, tu dois posséder quelques connaissances. Avant de mijoter tes idées, assure-toi de bien comprendre le phénomène à représenter.

Décris les mouvements de rotation et de révolution de la Terre et de la Lune.

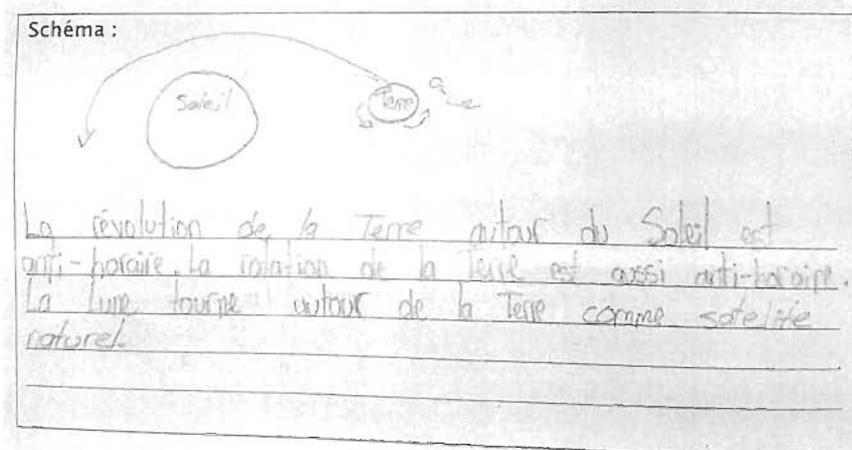


Figure 18. Extrait du cahier de conception de Julien (p. 4)

Enfin, pour Julien, les modèles contribuent à aider les personnes à visualiser et

ainsi à mieux comprendre les concepts à l'étude. Dans son entretien, il mentionne que le *Planétaire* permet d'illustrer les mouvements entre le Soleil, la Terre et la Lune, ce qui rend plus facile la perception du phénomène.

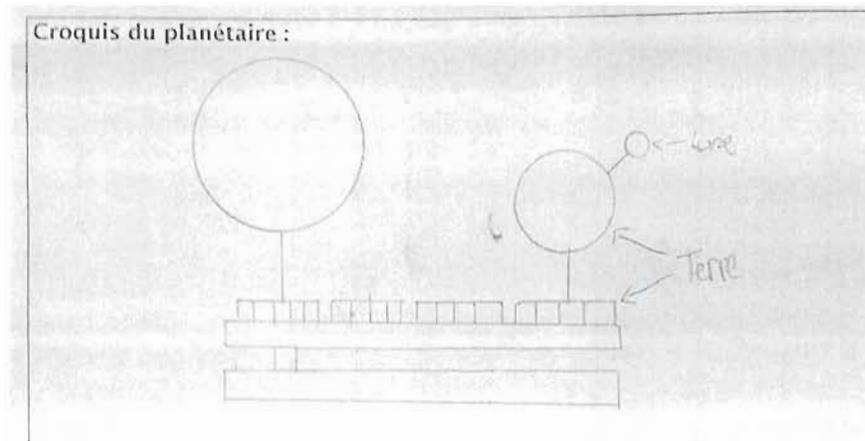


Figure 19. Extrait du cahier de conception de Julien (p. 6)

4.9 Le portrait de Jérémie

Au début de l'entretien, Jérémie dit avoir adoré faire le *Planétaire*, car « ça fait différent de faire juste de la théorie ». Toutefois, ce n'est pas ce qu'il préfère. Il pourrait revivre l'expérience de conception, mais pas trop souvent.

4.9.1 La perception des modèles et de la démarche de modélisation en S&T

Il est difficile pour Jérémie de définir ce qu'est un modèle. Après que nous le lui ayons décrit, il a été en mesure de nous donner des exemples tels que des schémas et des maquettes. Par la suite, il explique que les modèles nous permettent de

manipuler du matériel afin de « voir » un phénomène. Dans le cas du *Planétaire*, le mécanisme fait bouger les astres afin de visualiser les mouvements entre le Soleil, la Terre et la Lune.

4.9.2 Les contributions des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T

Avant même de commencer ce projet, Jérémy saisissait bien le phénomène. Néanmoins, la maquette lui permet de visualiser et ainsi mieux comprendre les mouvements entre le Soleil, la Terre et la Lune. À la suite de la SAE, il se sent plus « à l'aise avec les notions », c'est-à-dire qu'il comprend mieux les mouvements entre le Soleil, la Terre et la Lune même s'il semble les maîtriser avant la conception comme le démontre la figure 20.

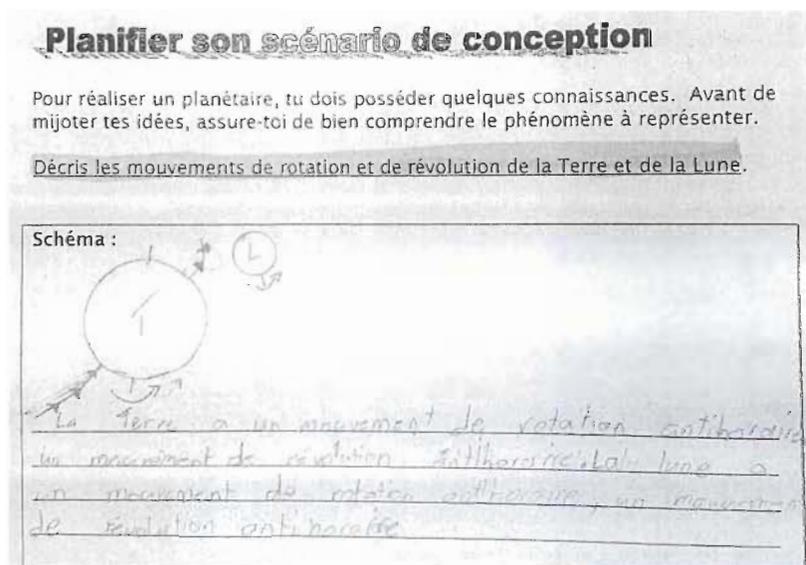


Figure 20. Extrait du cahier de conception de Jérémy (p. 4)

4.10 L'analyse et l'interprétation des résultats

À partir des neuf portraits dressés précédemment, nous analysons et interprétons ici les résultats obtenus au regard de nos objectifs de recherche. Pour ce faire, nous faisons ressortir les éléments de convergence et de divergence, comme suggéré par Anadón et Savoie-Zajc (2009), entre les participants pour parvenir aux principaux thèmes découlant de cette recherche.

4.10.1 L'analyse de la perception des participants à l'égard des modèles et de la démarche de modélisation en S&T

En général, plusieurs participants démontrent une certaine facilité pour les S&T (Marie-Ève, Camille et Julien), ou du moins pour les conceptions (Olivier, Jade et Marc-Antoine). Selon Alexandra, Jade, Camille et Jérémie, cette SAE représente un défi en soi. Ces derniers semblent satisfaits et fiers d'avoir achevé un tel projet.

Néanmoins, pour Marie-Ève, la réalisation du croquis du *Planétaire* consiste en une étape particulièrement difficile. Olivier, Charles et Jade quant à eux, affirment que la complexité de cette SAE se situe au niveau de l'élaboration du plan d'action, où le manque d'idées s'avère problématique. Souvent, ils voient les mouvements dans leur tête, mais ne savent pas nécessairement comment les représenter dans un croquis en deux dimensions. Il s'agit d'un écueil à considérer dans une telle activité de modélisation-conception. Les élèves soulignent la difficulté qu'ils rencontrent à

élaborer un plan avant même d'avoir entrepris des manipulations. C'est plutôt lors de la conception à proprement parler que des modifications et des ajustements à différents niveaux ont été nécessaires afin de produire un modèle qui respecte le plus possible les rotations et les révolutions entre les astres. Par exemple, Olivier et Marc-Antoine ont dû déplacer leur Soleil au-dessus du goujon vertical pour que la Terre puisse tourner autour du Soleil.

En ce qui concerne les définitions, les rôles et les fonctions des modèles dans l'apprentissage des S&T, le tableau 1 résume les propos des élèves à ce sujet. Il est possible de constater que la représentation, la visualisation, l'explication et la compréhension reviennent fréquemment dans leur discours.

Tableau 1

Les modèles (définitions, rôles et fonctions) selon les participants

Participants	Définition	Rôles et fonctions
Olivier	Un modèle est une conception, une représentation de quelque chose qui sert à guider ses manipulations.	<ul style="list-style-type: none"> • Guider • Concevoir • Comprendre • Représenter • Expliquer
Alexandra	Un modèle est une image, un objet ou une personne que nous pouvons nous inspirer, regarder ou admirer.	<ul style="list-style-type: none"> • Inspirer • Comprendre • Visualiser
Charles	Un modèle est quelque chose que l'on peut regarder pour prendre exemple. En S&T, il peut s'agir d'une fabrication pour mieux comprendre.	<ul style="list-style-type: none"> • Référer • Comprendre • Visualiser
Jade	Un modèle est une personne ou objet sur lequel nous pouvons nous identifier ou nous inspirer pour réaliser quelque chose.	<ul style="list-style-type: none"> • Inspirer • Imaginer • Représenter • Visualiser • Comprendre
Marc-Antoine	Un modèle démontre un phénomène que l'on veut expliquer. Il sert d'appui visuel.	<ul style="list-style-type: none"> • Expliquer • Démontrer • Visualiser • Comprendre
Marie-Ève	Aucune définition	<ul style="list-style-type: none"> • Comprendre • Visualiser • Expliquer
Camille	Un modèle est un objet qui aide à reproduire quelque chose.	<ul style="list-style-type: none"> • Représenter • Comprendre • Visualiser
Julien	Un modèle est une fonction servant à représenter quelque chose afin de nous aider à réaliser une tâche. Il sert à voir ce que l'on tente de s'imaginer.	<ul style="list-style-type: none"> • Imaginer • Représenter • Visualiser
Jérémy	Aucune définition	<ul style="list-style-type: none"> • Manipuler • Comprendre • Visualiser

Marie-Ève et Jérémie n'ont toutefois pas été en mesure de nous fournir une définition des modèles. Néanmoins, ils expriment leur compréhension des rôles et des fonctions des modèles à travers leur discours tout au long de l'entretien. Olivier, Alexandra, Charles, Jade et Camille présentent, pour leur part, le modèle comme un référent (objet ou personne) que l'on tente d'imiter ou de reproduire. Selon eux, l'objectif de la SAE est de produire un système Soleil-Terre-Lune (S-T-L) à l'image du « vrai » ou du moins du modèle que l'enseignante avait présenté en début d'année. Olivier, Marc-Antoine et Julien indiquent que le modèle représente quelque chose de manière visuelle et concrète. Julien explique qu'il n'est pas possible de sortir de la Terre pour apercevoir les mouvements entre les astres. Le modèle contribue donc, comme le souligne Marc-Antoine, à démontrer le phénomène. Néanmoins, nous ne sommes pas prêts à dire que ces trois élèves pensent que leur modèle est une représentation à l'échelle du système S-T-L. En effet, la figure 21 réfère au cahier de conception d'Olivier et présente deux aspects à améliorer dans son *Planétaire*. Il est à noter que Marc-Antoine a ciblé les mêmes aspects qu'Olivier. Ainsi, même si le modèle est une représentation réduite servant à démontrer les mouvements entre les astres, ils constatent certaines limites du modèle construit.

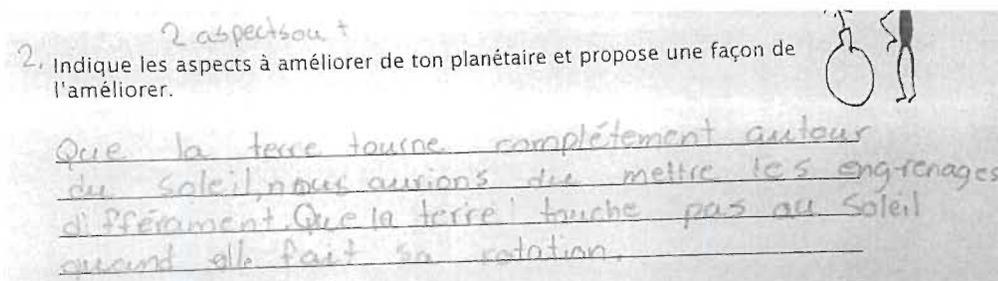


Figure 21. Extrait du cahier de conception d'Olivier (p. 7)

Durant les entretiens, il est possible de recueillir les rôles, fonctions et caractéristiques des modèles. Cependant, pour la plupart des participants le terme « modèle » semble nébuleux au premier abord. En effet, il ne semble pas souvent abordé en classe ce qui rend sa compréhension plus difficile. Quelques participants ont donc besoin d'être guidés pour bien cibler en quoi consiste un modèle. Au moment de leur demander des exemples de modèles qu'ils ont réalisés dans leur cours de S&T, Alexandra, Jade, Marc-Antoine, Marie-Ève, Camille, Julien font référence aux images projetées ou dessinées par l'enseignante dans les cours de S&T et Julien au système solaire qu'ils ont conçu dans le cours d'option science. Pour sa part, Olivier fait référence aux modèles réduits tels que les catapultes et Marie-Ève a une maquette d'un village qu'elle a fabriqué au primaire.

La dernière partie du cahier de conception consiste en un retour réflexif sur la maquette conçue. Les élèves doivent nommer deux aspects positifs, deux aspects à améliorer de même que quelques modifications effectuées en cours de conception

(selon le croquis de départ). Les réponses des participants varient grandement dans cette section. Comme aspect à améliorer, Camille mentionne le mouvement de rotation de la Terre sur elle-même est plutôt saccadé ce qui ne correspond pas à la réalité. Olivier et Marc-Antoine évoquent la proximité de la Terre et du Soleil de même que du mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil incomplet. Les autres participants discutent davantage des éléments en lien avec la conception (fabrication) de leur *Planétaire*.

4.10.2 L'analyse des contributions potentielles des modèles dans l'appréhension de concepts particulièrement abstraits en S&T

Tous les participants s'entendent pour dire que la conception du *Planétaire* contribue à la « visualisation » du phénomène à l'étude. Plutôt que de tenter de s'imaginer les mouvements, les élèves les constatent par eux-mêmes grâce à un mécanisme de transmission du mouvement. Bien que ce type de mécanisme ne soit pas présent dans le système S-T-L, il contribue à visualiser les mouvements simultanément ce qui permet à Alexandra, Jade, Marc-Antoine et Marie-Ève de mieux comprendre. Selon eux, dans les classes de S&T, il devrait y avoir davantage d'images, de démonstrations ou de modèles réduits pour « voir » les phénomènes. Marie-Ève propose d'avoir en main les planètes du Système solaire lors des explications théoriques par l'enseignante pour constater leurs couleurs et leur dimension respectives. Alexandra, quant à elle, suggère d'intégrer davantage de technologie afin d'offrir aux élèves des éléments visuels stimulants grâce à des logiciels de simulation

et de modélisation, par exemple. Ainsi, montrer des modèles en classe contribue selon eux à représenter de manière concrète des phénomènes scientifiques et technologiques.

Bien que la présentation d'images et d'objets semble une avenue prometteuse pour les élèves, certains participants manifestent également leur intérêt à fabriquer par eux-mêmes des modèles dans leur cours de S&T. Charles, Jade, Marie-Ève et Julien affirment qu'ils préfèrent avoir construit le *Planétaire* plutôt que d'en avoir observé un en classe. Julien se sentait au cœur même de ses apprentissages dans la réalisation de ce projet. La conception d'un modèle contribue donc à rendre les apprenants actifs dans la construction de leurs connaissances.

En ce qui concerne la contribution du modèle dans l'appréhension des mouvements entre le Soleil, la Terre et la Lune, les réponses varient entre les participants de cette étude. Nous avons été en mesure de dégager trois profils. Premièrement, pour Alexandra et Jade, le modèle contribue à modifier leurs conceptions quant aux mouvements entre les astres. Celui-ci leur a permis de comprendre le phénomène en profondeur. En effet, de prime abord, elles pensent que le Soleil tourne autour de la Terre (géocentrisme). La fabrication du *Planétaire* ébranle leurs conceptions menant à l'adoption de l'héliocentrisme. Il s'agit alors d'un *changement conceptuel*, car il consiste à « faire évoluer les représentations intuitives » (Legendre, 1994, p. 666) des élèves. Pour Olivier, Marc-Antoine et Marie-Ève, le modèle permet de réviser

certaines conceptions premières issues de leur schéma de conception. En effet, ces élèves ont procédé à quelques ajustements par rapport au croquis illustré dans leur cahier de conception. Olivier et Marc-Antoine révisent leur conception (figures 5, 6 et 14) en positionnant le Soleil au centre du bâton de bois afin que la Terre puisse tourner autour du Soleil. Marie-Ève, quant à elle, déplace la poulie surmontée du Soleil (figure 15) afin d'y insérer en son centre le goujon vertical pour transmettre le mouvement.

Deuxièmement, pour Charles et Julien, le modèle consolide leurs apprentissages relatifs aux mouvements entre les astres. Ayant préalablement bien compris la théorie, ils apprécient avoir réalisé cette SAE, car elle leur offre un moyen de visualiser le phénomène grâce à un modèle réduit. Ainsi, la *consolidation des apprentissages* contribue à bonifier l'appréhension de ces concepts.

Finalement, bien que le *Planétaire* permette à certains participants d'ajuster ou de consolider leur compréhension des mouvements entre les astres, Camille et Jérémy maintiennent leur position en indiquant que ce projet n'a pas contribué à l'appréhension des concepts. Ils expliquent et soutiennent que les modèles aident à visualiser et à mieux comprendre, sans pour autant s'appliquer à leur situation. C'est ainsi que le profil *aucune contribution potentielle* émerge des données de cette recherche. Il est important de mentionner que les profils dégagés proviennent des entretiens avec les participants de même que des conceptions premières issues de leur

cahier de conception. Nous n'avons pas validé leur compréhension du phénomène à l'aide d'un test quelconque; nous nous fions uniquement à leur discours, à leur perception et à leurs écrits. La figure 22 présente les trois profils de la contribution potentielle des modèles dans l'appréhension des concepts présents dans la SAE selon le témoignage des participants à cette étude.



Figure 22. Trois profils de la contribution potentielle des modèles dans l'appréhension de concepts

En somme, le portrait des neuf participants nous a permis d'analyser leur vécu en élaborant des thèmes en fonction des éléments de convergence et de divergence (Anadón et Savoie-Zajc, 2009). Les modèles sont considérés comme des éléments fondamentaux pour visualiser des phénomènes en S&T. En général, il s'agit d'une représentation simplifiée d'une réalité complexe dans laquelle les mouvements doivent être respectés afin de se conformer au phénomène. Le modèle contribue de diverses manières à la compréhension de concepts en S&T. Le chapitre suivant comprend la discussion et la conclusion, dans lesquelles nous tissons des liens avec les objectifs de cette étude, procédons à des recommandations, en plus de présenter quelques limites et pistes de réflexion pour des recherches futures.

Chapitre 5

La discussion et la conclusion

Clicours.COM

Ce chapitre propose un succinct retour sur les principaux résultats en vue d'approfondir notre réflexion au regard de nos objectifs de recherche. De cette réflexion découlent des recommandations à l'égard de l'enseignement de la S&T ayant recours aux modèles pour apprendre des concepts particulièrement abstraits. Ensuite, quelques limites de cette recherche sont soulevées. Finalement, ce chapitre se termine par les pistes de réflexion menant à d'éventuelles études au sujet de l'articulation entre l'abstrait et le concret, des modèles ainsi que de la démarche de modélisation en S&T.

5.1 La discussion

La discussion propose de mettre en lumière les principaux résultats obtenus avec des études antérieures à l'égard de l'articulation entre l'abstrait et le concret, d'une part, ainsi que de la place des modèles et de la démarche de modélisation dans l'enseignement et dans l'apprentissage de la S&T, d'autre part. Nous revenons également sur les objectifs de cette recherche afin de formuler nos recommandations. Cette section se termine avec les retombées de la présente étude sur l'enseignement et l'apprentissage de concepts particulièrement abstraits en S&T.

5.1.1 L'articulation entre l'abstrait et le concret

La modélisation correspond à une méthode contribuant à représenter « une situation nécessitant le passage de l'abstrait au concret » (Gagnon, 2015, p. 88). Elle permet de visualiser un phénomène en recourant à des images, des schémas, des

graphiques, des vidéos, des maquettes ou autres. Ces dispositifs rendent le concept qui, à la base, est particulièrement abstrait, perceptible grâce aux sens et, en l'occurrence, plus concret pour l'apprenant (Gagnon, 2015; Sensevy et Santini, 2006). Le modèle construit dans le cadre de cette recherche consiste en une représentation tangible menant à l'appréhension des concepts présents dans la SAE (Arousseau, 2017). Celui-ci semble être un outil essentiel pour enseigner plus directement aux apprenants (Chittleborough *et al.*, 2005). Selon Gagnon (2015),

les élèves éprouvant des difficultés au niveau du passage de l'abstrait au concret trouvent un sens à leurs apprentissages lorsqu'ils visualisent des concepts à partir d'images ou d'animations. La modélisation et les simulations sont des pratiques importantes facilitant la visualisation de concepts abstraits (p. 91)

Nos résultats démontrent que la construction d'un modèle comme celui du *Planétaire* contribue à représenter de manière visible et tangible des phénomènes scientifiques et technologiques, ce qui émerge également de l'étude de Chemin (2004) : « La manipulation du modèle a donc facilité la représentation mentale des élèves et favorisé ainsi le traitement analogique de l'information, ce qui induit une meilleure compréhension du phénomène » (p. 31). La modélisation permet de visualiser des phénomènes, ce qui favorise l'apprentissage de concepts particulièrement abstraits (Chittleborough *et al.*, 2005; Gagnon, 2015). Plusieurs études ont validé l'efficacité de cette approche pour

l'enseignement du mécanisme des phases de la Lune [...] Trundle, Wilmore et Smith (2006) et Trundle, Atwood et Christopher (2007b) avec des élèves du primaire; Trundle *et al.* (2010) avec des élèves du secondaire;

et Trumper (2006b), Trundle, Atwood et Christopher (2006 et 2007a) et Mulholland et Ginns (2008) avec de futurs enseignants du primaire et du secondaire. Dans tous les cas, les participants parvenaient à une meilleure compréhension du mécanisme des phases lunaires après la modélisation (Chastenay, 2017, p. 87)

D'ailleurs, une recherche menée par Bodur et Guichard (2006) auprès d'élèves du primaire (8 à 10 ans) montre que le moyen le plus efficace pour appréhender et mémoriser des concepts scientifiques ou technologiques résulte de la complémentarité entre une simulation et une modélisation. Autrement dit, la construction d'un modèle matériel (maquette) aide à visualiser le phénomène et, par ricochet, à le comprendre.

5.1.2 Les modèles et la démarche de modélisation dans le PFEQ

Rappelons que dans le cadre de notre recherche, des élèves de première secondaire ont construit un modèle en trois dimensions (maquette) pour représenter les mouvements entre le Soleil, la Terre et la Lune. Ce projet s'inscrit dans la première compétence du PFEQ qui s'articule autour de la résolution de problème, à savoir de « chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique » (MELS, 2007a, p. 275). Selon le Ministère, c'est grâce à des observations, des manipulations et des expérimentations que les élèves tentent de répondre aux questions préalablement posées. À cet égard, la modélisation et la simulation s'avèrent opportunes « pour favoriser l'apprentissage de concepts astronomiques » (Chastenay, 2017, p. 74).

Comme mentionné dans le programme, « [e]n technologie, on privilégie la démarche de conception pour le premier cycle [du secondaire] puisqu'elle constitue un terrain fertile pour aborder les concepts abstraits de manière concrète et dans l'action » (MELS, 2007a, p. 268). La SAE s'oriente notamment autour de cet énoncé, car elle propose un projet technologique pour fabriquer un objet sous forme de maquette, ce qui contribue à rendre les savoirs plus concrets (Aurousseau, 2017).

La conception du modèle s'inscrit dans les visées du PFEQ. Il s'agit d'un projet dans lequel les élèves sont actifs dans leur apprentissage et dans la construction de leurs connaissances (Champsaur et Ménager, 2013; Legendre, 1994). Il en découle des questionnements, des tâtonnements et des réflexions engageant les apprenants dans un niveau intellectuel supérieur (Aurousseau, 2017), où ils sont pleinement investis sur le plan cognitif dans la résolution du problème pour comprendre un phénomène lié à l'astronomie.

Ainsi, la SAE est ouverte à cause de la diversité de solutions possibles à la situation donnée. Elle demeure intégrative en rattachant l'univers technologique à l'univers Terre et espace en plus de faire appel à plusieurs activités d'apprentissage telles que la démarche de modélisation et la démarche de conception (MELS, 2007a). La fabrication d'un modèle rend les concepts signifiants pour les élèves en leur

faisant « vivre » une expérience axée sur l'observation, le questionnement et la manipulation (Conseil supérieur de l'éducation, 2013). Ainsi, les élèves construisent leurs connaissances en interagissant activement avec leur environnement (Johsua et Dupin, 1989). Le tableau 2 présente les composantes de la compétence 1 du programme de S&T au premier cycle du secondaire, qui sont en lien avec la fabrication d'un modèle.

Tableau 2

La compétence 1 du PFEQ (MELS, 2007a, p. 277)

Intitulé de la composante	Descriptif de la composante
Cerner un problème	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les caractéristiques scientifiques ou technologiques du problème • Reconnaître les éléments qui semblent pertinents • Formuler le problème
Choisir un scénario d'investigation ou de conception	<ul style="list-style-type: none"> • Envisager divers scénarios • Tenir compte des contraintes inhérentes à chacun d'eux • Retenir un scénario susceptible de permettre d'atteindre le but • Justifier ses choix • Planifier sa démarche
Concrétiser sa démarche	<ul style="list-style-type: none"> • Suivre les étapes de la planification • Au besoin, ajuster ses manipulations, revoir sa planification ou chercher une nouvelle piste de solution
Analyser ses résultats ou sa solution	<ul style="list-style-type: none"> • Rechercher les tendances significatives parmi les données ou procéder à la mise à l'essai du prototype • Formuler de nouveaux problèmes ou proposer des améliorations

La deuxième compétence « Mettre à profit ses connaissances scientifiques et technologiques » (MELS, 2007a, p. 278) renvoie, dans notre cas, à l'évolution des modèles construits et standardisés. En effet, ces derniers peuvent se transformer afin d'expliquer plus adéquatement un phénomène, voire être rejetés dans certains cas (Aurousseau, 2017; Scheidecker-Chevalier et Laporte, 1999).

Cette compétence fait aussi appel à des connaissances relatives à la

manière dont les savoirs scientifiques et technologiques sont construits, standardisés, acquis et utilisés ainsi qu'aux rapports qu'ils entretiennent avec d'autres sphères de l'activité humaine (MELS, 2007a, p. 278)

Ainsi, la SAE du *Planétaire* se reflète bien à travers la compétence 2 du PFEQ, où les élèves doivent décrire, représenter et expliquer un phénomène. Le tableau 3 présente une composante de la compétence 2 du programme de S&T au premier cycle du secondaire, qui renvoie aux étapes menant à la conception d'un modèle.

Tableau 3

La compétence 2 du PFEQ (MELS, 2007a, p. 279)

Intitulé de la composante : <i>Comprendre des phénomènes naturels</i>	
Descriptif de la composante	<ul style="list-style-type: none"> • S'interroger sur certains phénomènes • Les décrire de manière qualitative • S'en donner une représentation schématique • Expliquer les phénomènes à l'aide de lois ou de modèles • Vérifier la cohérence de l'explication donnée • S'appropriier les concepts pertinents et en reconnaître le caractère évolutif

Finalement, au deuxième cycle du secondaire s'ajoute, de manière plus explicite, la démarche de modélisation dans le PFEQ (MELS, 2007b). Afin de préparer adéquatement les élèves à cette démarche, il nous semble important, dès la première secondaire, de l'explicitier davantage dans les cours de S&T afin de dégager les rôles,

fonctions, caractéristiques et limites des modèles.

5.1.3 Les modèles et la démarche de modélisation dans l'enseignement et dans l'apprentissage des S&T au secondaire

Selon Arousseau (2017), comme les enseignants expliquent implicitement les modèles dans leurs cours de S&T, ils jugent que leurs élèves connaissent ce qu'est un modèle sans pour autant savoir à quoi ils servent et quelles sont leurs limites. Certes, la majorité des participants de notre recherche ont été en mesure de fournir une définition et de faire ressortir quelques rôles, fonctions et caractéristiques. Pourtant, l'étude de Chittleborough *et al.* (2005) révèle que les apprenants peuvent être confus à l'égard des modèles et de la modélisation lorsqu'ils ne sont pas renseignés sur leurs significations et leurs rôles en S&T. C'est pourquoi il semble important de prendre du temps en classe afin d'expliquer convenablement et de manière explicite à quoi ils servent et quelles sont leurs forces et leurs limites en S&T. Malgré le fait que nous ayons été en mesure de soustraire certaines idées et exemples des modèles dans notre étude, il nous semble clair que ce concept n'est pas entièrement acquis et compris pour des élèves de première secondaire. Pourtant, il s'agit d'un élément à prendre en considération en S&T, d'où la pertinence d'enseigner de manière explicite les modèles.

En ce qui concerne les trois profils des contributions potentielles des modèles dans l'appréhension de concepts particulièrement abstraits en S&T, nos résultats sont

en lien avec ceux de Chemin (2004). Premièrement, selon l'auteur, « la modélisation est un bon outil pour "casser" les raisonnements intuitifs des jeunes élèves, permettre une réelle accommodation de leurs structures mentales et une décentration de la pensée » (p. 30). Pour certains participants, la construction de la maquette leur a permis d'ébranler leurs conceptions initiales résultant ainsi une modification de leur représentation du phénomène. Une étude en biologie menée par Champsaur et Ménager (2013) montre que la modélisation ne suffit pas à engendrer un changement de conception chez les élèves de CMI (10 ou 11 ans). Après l'expérience, ces derniers soutiennent que le tube digestif est étanche comme un tuyau de plomberie, et ce, malgré les expérimentations réalisées. Pour certains participants de notre recherche, la construction du modèle n'a pas contribué à comprendre les concepts issus de la SAE le *Planétaire*. Comme dans l'étude de Champsaur et Ménager (2013), les élèves sont demeurés avec les mêmes connaissances avant et après l'expérimentation.

Deuxièmement, pour la majorité des participants de notre recherche, le modèle contribue à consolider leurs apprentissages. En fait, « la modélisation permet aussi un meilleur ancrage en mémoire des connaissances apportées en parallèle de la recherche avec le modèle » (Chemin, 2004, p. 30-31). Comme mentionné également par Kopp et Lombard (2012), la construction d'un support matériel (maquette) aide à comprendre une réalité.

L'étude menée par Chemin (2004) ne nous permet pas d'arrimer nos résultats en ce qui a trait notre troisième profil, soit *aucune contribution*. À cet égard, il est important d'indiquer que nous basons ce profil sur les entretiens des participants et sur leur cahier de conception. Un changement de conception peut avoir eu lieu sans que nous ayons été en mesure de l'identifier.

5.1.4 Un retour sur les objectifs de recherche

Cette recherche nous a permis de répondre aux deux objectifs que nous nous étions préalablement fixés. Dans un premier temps, nous avons décrit la perception des participants à l'égard des modèles pour appréhender des concepts particulièrement abstraits en S&T. Les données recueillies sur leurs conceptions des modèles de même que sur leur impression au sujet de la réalisation de l'ensemble du projet en témoignent. Dans un deuxième temps, nous avons décrit et expliqué les contributions potentielles des modèles dans l'appréhension de concepts particulièrement abstraits en S&T. La visualisation, la représentation, l'explication et la compréhension sont des termes fréquemment employés dans le discours des participants au sujet des modèles. Finalement, trois profils de contributions potentielles de la modélisation émergent de nos résultats, soit le changement conceptuel, la consolidation des apprentissages et aucune contribution.

5.1.5 Les retombées et les recommandations

Cette recherche nous a permis de produire de nouveaux savoirs au sujet de la

perception des élèves à l'égard de la construction d'un modèle pour appréhender des concepts particulièrement abstraits en S&T de même que sur les contributions potentielles de cette conception (modèle). Cette étude ambitionne des répercussions sur la compréhension de concepts et, par ricochet, sur l'apprentissage d'élèves du secondaire en S&T. Ainsi, les retombées de la recherche servent à informer les enseignants de S&T au secondaire sur les modalités à envisager pour enseigner des concepts particulièrement abstraits en classe en utilisant ou en construisant un modèle. De plus, elle peut soutenir les enseignants dans leur formation ainsi que les chercheurs intéressés par cette étude. Elle s'avère également utile pour alimenter des recherches ultérieures portant sur l'articulation entre l'abstrait et le concret, les modèles et la démarche de modélisation.

À la suite de cette recherche, certaines constatations nous mènent à l'élaboration de deux recommandations pour les enseignants du secondaire en S&T ainsi qu'à tout autre acteur scolaire se sentant interpellé par cette étude.

- 1. Nous recommandons d'enseigner en recourant davantage à des dispositifs favorisant la visualisation et la manipulation.* À cet effet, plusieurs participants manifestent leur intérêt pour les projets nécessitant la manipulation et dans lesquels ils sont actifs dans la construction de leurs connaissances. Il faut envisager des situations d'apprentissage qui mettent les élèves au centre de leur apprentissage plutôt que de leur faire construire des

prototypes suivant des étapes prédéfinies et rigides qui limitent leur raisonnement dans l'élaboration d'un modèle (Aurousseau, 2017). À cet égard, certains participants expriment leur désir de manipuler davantage de matériel didactique en classe de S&T pour visualiser les concepts difficilement accessibles.

- 2. Nous recommandons de rendre explicite l'enseignement des modèles et de la démarche de modélisation.* L'enseignement des modèles est souvent abordé de manière implicite dans les cours de S&T (Aurousseau, 2017), ce qui restreint la potentialité de leur compréhension dans l'enseignement et dans l'apprentissage. Afin de rendre les élèves prêts et disposés dès le deuxième cycle du secondaire à la démarche de modélisation (MELS, 2007b), il est important d'explicitier les rôles, fonctions et caractéristiques des modèles et même de dégager avec eux les limites et les avantages de leur utilisation dès l'entrée au secondaire, voire dès le primaire.

5.2 La conclusion

Dans cette section, nous faisons un bref retour sur les principaux résultats obtenus. L'exploration des limites nous mène à la formulation de quelques pistes de réflexion à exploiter dans des recherches futures.

5.2.1 Un retour sur les principaux résultats de cette recherche

Pour les participants, les modèles servent à représenter des phénomènes scientifiques et technologiques en visualisant en s'imaginant et en manipulant. Ils permettent d'expliquer des concepts en misant sur la compréhension de ceux-ci. De cette manière, les modèles contribuent à rendre les élèves actifs dans leur apprentissage.

Nous avons également été en mesure de dégager trois profils de contribution potentielle des modèles dans l'appréhension de concepts particulièrement abstraits. Premièrement, le *changement conceptuel* nécessite le passage de la connaissance intuitive vers la connaissance scientifique (Lapointe, 2002). Ce dernier se produit lors d'un déséquilibre cognitif menant l'élève à modifier ses conceptions initiales (Potvin, 2011). Deuxièmement, la visualisation du phénomène et la manipulation d'un objet concret rendent les concepts plus tangibles pour les apprenants, ce qui mène à *consolider leurs apprentissages*. Troisièmement, quelques participants manifestent que le modèle construit ne contribue pas à la compréhension des mouvements entre les astres (*aucune contribution potentielle*). Les informations recueillies proviennent du discours des élèves participants.

5.2.2 Les limites

Considérant les mesures mises en place afin de formaliser cette recherche, celle-ci comprend quelques limites. Elles portent sur les entretiens relativement de

courte durée, sur le nombre peu élevé de participants et sur les dispositions utilisées pour recueillir les conceptions des élèves.

Premièrement, la présente recherche a été réalisée auprès d'élèves de première secondaire. Les échanges avec ces derniers lors des entretiens semi-dirigés ont été de courte durée. À cet effet, le canevas peut être ajusté en ajoutant des questions sur le processus de modélisation afin de répondre plus en profondeur à nos questions. Néanmoins, les entretiens ainsi que les autres méthodes de collecte de données contribuent à répondre à nos objectifs de recherche. De plus, la participation d'un échantillon plus âgé aurait probablement bonifié cette recherche. Notamment, les réponses recueillies pourraient s'avérer plus détaillées, nous permettant ainsi d'explorer plus en profondeur leur perception et les contributions potentielles des modèles.

Deuxièmement, lors des entretiens, l'étudiante-chercheuse pouvait parfois induire des réponses et amener les élèves à dégager les rôles, les fonctions et les caractéristiques des modèles. Il était quelquefois difficile pour les participants de répondre de manière précise et détaillée à certaines questions du canevas d'entretien.

Troisièmement, notre recherche a été possible grâce à la participation de neuf élèves de première secondaire. Il aurait été intéressant d'étendre cette étude en ayant davantage de participants. De cette manière, nous aurions été en mesure de répondre à nos objectifs plus en profondeur. Nous ne prétendons pas avoir obtenu des résultats

exhaustifs étant donné que l'intention de cette recherche ne vise pas la généralisation.

Finalement, il aurait été pertinent de relever les conceptions des élèves à propos de phénomènes astronomiques tels que les éclipses, les phases de la Lune et le cycle du jour et de la nuit au début et à la fin de la SAE. De cette manière, nous aurions pu évaluer l'évolution des conceptions des élèves et ainsi répondre plus précisément à nos objectifs de recherche. À cette fin, il aurait été pertinent de sonder les participants lors des entretiens individuels afin qu'ils nous expliquent ces phénomènes en profondeur ainsi que les mouvements relatifs entre le Soleil, la Terre et la Lune.

5.2.3 Les pistes de réflexion

Compte tenu de ce qui précède, nous suggérons quelques pistes de réflexion en lien avec nos objectifs de recherche. Des études subséquentes pourraient compléter cette recherche afin d'explorer et de documenter à plus large spectre l'articulation entre l'abstrait et le concret, les modèles ainsi que la démarche de modélisation dans l'enseignement et dans l'apprentissage des S&T.

Les neuf participants devaient construire un modèle en trois dimensions lors d'une SAE pour représenter les mouvements entre le Soleil, la Terre et la Lune. Nous pensons que la conception d'une plus grande variété de modèles pourrait être une option prometteuse à envisager dans des études ultérieures. En effet, notre recherche

met l'accent sur un seul type de modèle, soit une maquette en trois dimensions. Cependant, la démarche de modélisation se manifeste lors de la construction de divers types de modèles (schémas, équations, graphiques, etc.). De cette manière, il serait possible d'étudier la perception des élèves et la contribution des modèles dans divers contextes d'apprentissage. De plus, dans une recherche ultérieure, il serait possible d'étudier l'influence des habiletés spatiales des élèves dans la compréhension de concepts. Il s'agirait d'un aspect à prendre en considération dans la construction de modèles, particulièrement en astronomie d'autant plus que nous avons relevé que certains participants avaient un point de vue géocentrique du système solaire avant de modifier leur conception et plusieurs avaient de la difficulté à représenter sur papier ce qu'ils avaient en tête.

Afin de valider les profils de la contribution potentielle des modèles dans l'appréhension de concepts en S&T, il serait intéressant de réaliser une étude dans laquelle nous examinerions les connaissances des élèves avant et après le recours à la modélisation. Notamment, il serait possible de vérifier les contributions potentielles dans l'apprentissage et dans la compréhension de concepts nécessitant le passage de l'abstrait au concret (Gagnon, 2015).

Pour conclure, nous suggérons la création de ressources pour les enseignants afin de faire vivre à leurs élèves de réelles activités de modélisation. Le partage de « bonnes pratiques » à travers une communauté se révèle une option prometteuse

autant pour les enseignants, qui auront du matériel en leur possession, que pour les élèves, qui en bénéficieront pour comprendre des concepts nécessitant l'articulation entre l'abstrait et le concret.

Références

- Anadón, M. et Savoie-Zajc, L. (2009). Introduction. L'analyse qualitative des données. *Recherches qualitatives*, 28(1), 1-7.
- Arnoux, P. et Finkel, A. (2010). Using mental imagery processes for teaching and research in mathematics and computer science. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 41(2), 229-242.
- Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B. et Verin, A. (2006). *Comment les enfants apprennent les sciences?* (3^e éd.). Paris : Retz.
- Arousseau, E. (2017). *Étude de pratiques d'enseignement en sciences et technologies avec des enseignants du secondaire* (Thèse de doctorat). Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec.
- Arousseau, E., Couture, C. et Samson, G. (2016, mai). *Étude de pratiques d'enseignement relatives à la modélisation en sciences et technologies avec des enseignants du secondaire*. Communication présentée au Congrès de l'ACFAS, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec.
- Bardin, L. (1989). *L'analyse de contenu*. Paris : Presses universitaires de France.
- Baribeau, C. (2005). Le journal de bord du chercheur. Actes du colloque *L'instrumentation dans la collecte de données*, Recherches qualitatives, Université du Québec à Trois-Rivières, 26 novembre 2004.
- Barth, B.-M. (2002). *Le savoir en construction*. Paris: Éditions Retz.
- Bastien, S. (2007). Observation participante ou participante observation? Usages et justifications de la notion de participation observante en sciences sociales. *Recherches qualitatives*, 27(1), 127-140.
- Bodur, B. et Guichard, J. (2006). Simuler un phénomène biologique : cas de la flexion-extension du bras. *Aster*, 43, 35-56.
- Boilevin, J.-M. et Brandt-Pomares, P. (2011). Démarches d'investigation en sciences et technologie au collège : les conditions d'évolution des pratiques. Dans M. Grangeat (dir.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (p. 51-62). Lyon : École nationale supérieure de Lyon.
- Calmettes, B. (2009). Démarche d'investigation en physique. *Spirale - Revue de recherche en éducation*, 43, 139-148.

- Centre de développement pédagogique. (2006). *Le Planétaire – cahier de conception*. Repéré à http://cdp.wpengine.com/wp-content/uploads/2013/11/cahier_planetaire1.pdf
- Champsaur, P. et Ménager, E. (2013). *La modélisation au cœur de l'apprentissage des sciences expérimentales : la digestion* (Mémoire professionnel). Institut universitaire de formation des maîtres, Grenoble. Repéré à <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00962432>
- Chastenay, P. (2017). La didactique de l'astronomie. Dans S. El Euch, A. Groleau et G. Samson (dir.), *Didactiques : bilans et perspectives* (p. 73-97). Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Chemin, N. (2004). *Les apports de la modélisation dans l'acquisition des connaissances en astronomie* (Mémoire professionnel). Institut universitaire de formation des maîtres (IUFM) Orléans-Tours.
- Chittleborough, G., Treagust, D. F. et Mamiala, T. L. (2005). Students' perceptions of the role of models in the process of science and in the process of learning. *Research in Science and Technological Education*, 23(2), 195-212.
- Conseil supérieur de l'éducation. (2013). *L'enseignement de la science et de la technologie au primaire et au premier cycle du secondaire*. Québec : Gouvernement du Québec.
- Drouin, A.-M. (1998). Les modèles en questions. *Aster*, 7, 1-20.
- Fortin, M.-F. et Gagnon, J. (2016). *Fondements et étapes du processus de recherche : méthodes quantitatives et qualitatives* (3^e éd.). Montréal : Chenelière Éducation.
- Fourez, G., Englebert-Lecompte, V. et Mathy, P. (1997). *Nos savoirs sur nos savoirs : un lexique d'épistémologie pour l'enseignement*: Bruxelles : De Boeck Université
- Gagnon, J. (2015). *Contributions potentielles du tableau numérique interactif dans une situation-problème nécessitant le passage de l'abstrait au concret dans un contexte de mathématique, science et technologie* (Mémoire de recherche). Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières.
- Gagnon, J.-F. (2014). *Impact d'une visite au centre de démonstration en sciences sur la compréhension de la masse volumique* (Mémoire de recherche). Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières.

- Gervais, G. et Samson, G. (2007). Modélisation et réalité. La rencontre des mathématiques et des sciences. *Spectre*, 37(1), 18-22.
- Hasni, A. (2010). Modèles et modélisation en enseignement scientifique : quelques aspects prioritaires à considérer. *Spectre*, 40(1), 10-13.
- Hasni, A., Potvin, P., Belletête, V. et Thibault, F. (2015). *L'intérêt pour les sciences et la technologie à l'école - Résultats d'une enquête auprès d'élèves du primaire et du secondaire au Québec*. Chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie (CRIJEST), Université de Sherbrooke.
- Jiménez, M. (1997). La psychologie de la perception : un exposé pour comprendre, un essai pour réfléchir. Paris: Flammarion.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.
- Johsua, S. et Dupin, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le « débat scientifique » dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Paris: Peter Lang.
- Justi, R. S. et Gilbert, J. K. (2002a). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R. S. et Gilbert, J. K. (2002b). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1273-1292.
- Karsenti, T. et Savoie-Zajc, L. (2000). *Introduction à la recherche en éducation*. Sherbrooke : Éditions du CRP.
- Karsenti, T. et Savoie-Zajc, L. (2011). *La recherche en éducation : étapes et approches* (3^e éd.). Québec : ERPI.
- Kopp, R. et Lombard, F. (2012). *La modélisation en biologie. comment la traiter en classe?* Projet de recherche pour les formateurs de terrain en biologie. Université de Genève.
- Lapointe, Y. (2002). Changement conceptuel. Exemple d'utilisation d'une stratégie de modélisation pour l'apprentissage du concept d'interaction. Dans T. Rodolphe (dir.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences : recherches et pratiques* (p. 117-131). Montréal : Éditions Logiques.

- Lapointe, Y. (2010). La modélisation comme outil d'enseignement et d'apprentissage. *Spectre*, 40(1), 16-19.
- Lebeaume, J. et Hamon, C. (2010). La modélisation en technologie : des propositions pour l'enseignement et un chantier pour la recherche. *Spectre*, 40(1), 30-33.
- Legay, J. M. (1997). *L'expérience et le modèle : un discours sur la méthode*. Paris : INRA.
- Legendre, M.-F. (1994). Problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences au secondaire : un état de la question. *Revue des sciences de l'éducation*, 20(4), 657-677.
- Legendre, R. (2005). *Dictionnaire actuel de l'éducation*. Montréal: Guérin.
- Martinand, J.-L. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : Institut national de recherche pédagogique.
- Martinand, J.-L. (2010). Schémas didactiques pour la modélisation en sciences et technologies. *Spectre*, 40(1), 20-24.
- Maxwell, J. (1999). *La modélisation de la recherche qualitative : une approche interactive*. Fribourg : Éditions Universitaires de Fribourg.
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2006). *Programme de formation de l'école québécoise, enseignement secondaire, 1^{er} cycle*. Québec : Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2007a). *Programme de science et technologie, enseignement secondaire, 1^{er} cycle*. Québec : Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2007b). *Programme de science et technologie, enseignement secondaire, 2^e cycle*. Québec : Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2011). *Progression des apprentissages au secondaire – Science et technologie 1^{er} cycle – Science et technologie 2^e cycle*. Québec : Gouvernement du Québec.
- Morge, L. et Doly, A.-M. (2013). L'enseignement de notion de modèle : quels

- modèles pour faire comprendre la distinction entre modèle et réalité? *Spirale – Revue de recherches en éducation*, 52, 149-175.
- Ney, M. (2006). Une typologie des fonctions des modèles formels : l'exemple de la biologie. *Aster*, 43, 133-162.
- Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie: quels apprentissages pour le lycée*. Paris : Presses universitaires de France.
- Paillé, P. et Mucchielli, A. (2012). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales* (4^e éd.). Malakoff : Armand Colin.
- Pierrard, M.-A. (1988). Modélisation et astronomie. *Aster*, 7, 91-102.
- Potvin, P. (2011). *Manuel d'enseignement des sciences et de la technologie, pour intéresser les élèves du secondaire*. Québec : Éditions MultiMondes.
- Potvin, P. et Hasni, A. (2013). Développer et implanter des interventions pédagogiques favorisant l'intérêt en science et technologie en se basant sur la recherche. *Spectre*, 43(1), 8-12.
- Radford, L., Demers, S. et Miranda, I. (2009). *Processus d'abstraction en mathématiques*. Repéré à <http://www.edu.gov.on.ca/fre/teachers/studentsuccess/abstraction.pdf>
- Robardet, G. (1990). Utiliser des situations-problèmes pour enseigner les sciences physiques. *petit x*, 23, 61-70.
- Robardet, G. (1995). Situations-problèmes et modélisation; l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique. *Didaskalia*, 7, 129-143.
- Robardet, G. et Guillaud, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris : Presses universitaires de France.
- Roy, P. et Hasni, A. (2014). Les modèles et la modélisation vus par des enseignants de sciences et technologies du secondaire au Québec. *Revue des sciences de l'éducation de McGill*, 49(2), 349-371.
- Scheidecker-Chevalier, M. et Laporte, G. (1999). *La démarche de modélisation en chimie : découvrir la méthodologie scientifique au travers des textes historiques*. Paris : Ellipses-Marketing.
- Sensevy, G. et Santini, J. (2006). Modélisation : une approche épistémologique.

Aster, 43, 163-188.

- Sirhan, G. (2007). Learning Difficulties in Chemistry: An Overview. *Journal of Turkish Science Education*, 4(2), 2-20.
- Stieff, M., Scopelitis, S., Lira, M. E. et Desutter, D. (2016). Improving representational competence with concrete models. *Science Education*, 100, 344-363.
- Tasquier, G., Levrini, O. et Dillon, J. (2016). Exploring students' epistemological knowledge of models and modelling in science: results from a teaching/learning experience on climate change. *International Journal of Environmental and Science Education*, 38(4), 539-563.
- Thouin, M. (2009). *Enseigner les sciences et les technologies au préscolaire et au primaire*. Québec: Éditions MultiMondes.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. et Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Treagust, D. F. et Harrison, A. G. (1999). The genesis of effective scientific explanations for the classroom. Dans J. Loughran (dir.), *Researching Teaching: Methodologies and Practices for Understanding Pedagogy* (p. 28-43). London: Falmer Press
- Turkoglu, A. Y. et Oztekin, C. (2016). Science teacher candidates' perceptions about roles and nature of scientific models. *Research in Science & Technological Education*, 34(2), 219-236.
- Van der Maren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation* (2^e éd.). Montréal : Les Presses de l'Université de Montréal.
- van Driel, J. H. et Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Environmental and Science Education*, 24(12), 1255-1272.
- Varlet, M. (2013). *Le recours aux modèles dans l'enseignement de la biologie au secondaire : conceptions d'enseignantes et d'enseignants et modes d'utilisation* (Thèse de recherche). Université de Sherbrooke, Sherbrooke.
- White, P. et Mitchelmore, M. C. (2010). Teaching for abstraction: a model. *Mathematical Thinking and Learning*, 12, 205-226.

Zaid, A. (2010). La modélisation dans l'enseignement de la technologie au collège en France. *Spectre*, 40(1), 34-37.

Appendice A

Formulaire d'information et de consentement



FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

Nous vous invitons à participer à notre projet de recherche qui vise à mieux comprendre le point de vue des élèves du secondaire quant à l'utilisation des modèles pour résoudre un problème dans le cadre d'une situation d'apprentissage et d'évaluation en science et technologie (S&T).

Le présent document vous renseigne sur les modalités de ce projet de recherche. S'il y a des mots ou des phrases que vous ne comprenez pas, n'hésitez pas à poser des questions à la l'étudiante-chercheuse responsable de ce projet de recherche. Prenez tout le temps dont vous avez besoin pour lire et comprendre ce formulaire avant de prendre votre décision et de signer ce formulaire d'information et de consentement.

Titre du projet de recherche :	Le recours aux modèles et à la démarche de modélisation pour comprendre des concepts en science et technologie au secondaire : perception d'élèves et modes d'utilisation.
Étudiante-chercheuse responsable du projet de recherche :	Marilyn Désy, étudiante à la maîtrise en éducation, Université du Québec à Trois-Rivières.
Membres de l'équipe de recherche :	Ghislain Samson, doyen, décanat de la gestion académique des affaires professorales, Université du Québec à Trois-Rivières. Emmanuelle Auroisseau, professeure au département des sciences de l'éducation, Université du Québec à Trois-Rivières.

Objectifs de recherche

Les objectifs de ce projet de recherche sont :

1. Décrire la perception d'élèves du secondaire à l'égard des modèles et de la démarche de modélisation (construction de modèles) pour comprendre des concepts en science et technologie.
2. Décrire et expliquer l'usage des modèles par des élèves du secondaire pour comprendre des concepts en science et technologie
 - a) Dégager des profils d'utilisateurs de modèles.



Nature et durée de la participation

Votre participation à ce projet de recherche consiste à vivre une situation d'apprentissage et d'évaluation (SAE) en classe qui nécessite la construction de modèles dans le cadre de votre cours de science et de technologie. Il est pertinent de noter que selon plusieurs études, le recours aux modèles est reconnu pour faciliter l'apprentissage des S&T.

En résumé, un modèle est une représentation en simplifiant un phénomène scientifique. Il peut prendre la forme d'une maquette, d'un dessin, d'un graphique, d'une équation, d'un symbole ou autre. Par exemple, il est possible de représenter le cycle de l'eau à l'aide d'un schéma et des flèches ou encore de construire une maquette pour comprendre les mouvements relatifs à la flexion et l'extension du bras. La notion de modèle vous sera expliquée plus en profondeur lors de la participation au projet.

Durant la réalisation de cette SAE, l'étudiante-chercheuse peut vous observer et prendre des notes afin de recueillir les données nécessaires à sa recherche. Un engagement dans cette recherche implique également la participation possible à un entretien individuel d'une durée d'environ 20 à 30 minutes qui sera enregistré par l'étudiante-chercheuse. Il est à noter que les enregistrements seront uniquement utilisés dans le cadre de cette recherche. L'entretien se déroulera à la fin de la SAE sur l'heure du dîner ou durant la période suivante du cours de science et technologie, à votre convenance, et de façon à occasionner le moins de dérangement possible dans l'organisation de votre emploi du temps.

Pour participer à la recherche, vous devez remplir le formulaire de consentement (ci-dessous), le faire signer par un parent ou tuteur légal et le rapporter à votre enseignant(e) de S&T. Dans le cas où ce document serait manquant, vous ne pourrez pas participer à la recherche.

Risques et inconvénients

Aucun risque n'est associé à votre participation à cette recherche. Veuillez prendre note que votre participation n'affectera aucunement ses résultats scolaires. Le temps consacré sur l'heure du dîner pour participer à l'entretien individuel, soit environ 20 à 30 minutes, est le seul inconvénient.

Avantages ou bénéfices

La contribution à l'avancement des connaissances au sujet de la perception des élèves du secondaire quant à l'utilisation des modèles pour comprendre des concepts et résoudre des problèmes en science et technologie est le seul avantage prévu à une éventuelle participation.

Compensation ou incitatif

Aucune compensation d'ordre monétaire n'est accordée dans le cadre de cette recherche.



Confidentialité

Les données recueillies par cette étude sont entièrement confidentielles et ne pourront en aucun cas mener à votre identification. La confidentialité sera assurée par l'utilisation de noms fictifs pour tous les participants. Les résultats de la recherche, qui pourront être diffusés sous forme d'un mémoire, d'articles scientifiques et de communications, ne permettront pas d'identifier les participants.

Comme participant à un entretien, vous connaîtrez l'identité des personnes participantes ainsi que les renseignements et opinions partagés lors de la discussion. Nous comptons sur votre collaboration pour conserver le caractère confidentiel de ces informations.

Les données recueillies seront conservées sous clé dans le laboratoire LERTIE à l'Université du Québec à Trois-Rivières. Les seules personnes qui y auront accès seront l'étudiante-chercheuse (Marilyn Désy), son directeur de recherche (Ghislain Samson) ainsi que sa codirectrice (Emmanuelle Aurousseau). Toutes ces personnes ont signé un engagement à la confidentialité. Les données seront détruites du disque dur en décembre 2018 et ne seront pas utilisées à d'autres fins que celles décrites dans le présent document.

Participation volontaire

Votre participation à cette étude se fait sur une base volontaire. Vous êtes entièrement libre de participer ou non, de refuser de répondre à certaines questions ou de vous retirer en tout temps sans préjudice et sans avoir à fournir d'explications. Si un participant se retirait de la recherche, l'étudiante-chercheuse détruira toutes les données en lien avec le participant.

Dans le cas peu probable où un participant aurait un comportement jugé perturbateur pour le bon déroulement de l'activité ainsi que pour les autres participants de la recherche, l'étudiante-chercheuse fournirait un avertissement. Si le comportement persévère, l'étudiante-chercheuse se réserverait la possibilité de retirer le participant en lui fournissant des explications sur cette décision.

Résultats de la recherche

Avec l'accord de la direction de l'école et de l'enseignant(e), un résumé des résultats sera fourni aux participants lors d'une rencontre durant un cours de science et technologie à l'hiver 2018.

Responsable de la recherche

Pour obtenir de plus amples renseignements ou pour toute question concernant ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Marilyn Désy (marilyn.desy@uqtr.ca).



Surveillance des aspects éthique de la recherche

Cette recherche est approuvée par le comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Trois-Rivières et un certificat portant le numéro CER-17-239-07.21 a été émis le 31 octobre 2017.

Pour toute question ou plainte d'ordre éthique concernant cette recherche, vous devez communiquer avec la secrétaire du comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières, par téléphone (819) 376-5011, poste 2129 ou par courrier électronique CEREH@uqtr.ca.



CONSENTEMENT

Engagement de l'étudiante-chercheuse

Moi, Marilyn Désy, m'engage à procéder à cette étude conformément à toutes les normes éthiques qui s'appliquent aux projets comportant la participation de sujets humains.

Consentement du participant

Je, _____, [nom du participant], confirme avoir lu et compris la lettre d'information au sujet du projet « Le recours aux modèles et à la démarche de modélisation pour comprendre des concepts en science et technologie au secondaire : perception d'élèves et modes d'utilisation. ». J'ai bien saisi les conditions, les risques et les bienfaits éventuels de ma participation. On a répondu à toutes mes questions à mon entière satisfaction. J'ai disposé de suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer ou non à cette recherche. Je comprends que ma participation est entièrement volontaire et que je peux décider de me retirer en tout temps, sans aucun préjudice.

J'autorise mon enfant à participer à ce projet de recherche et à être enregistré/filmé.

J'accepte donc librement de participer à ce projet de recherche

Participant :	Parent ou tuteur :	Étudiante-chercheuse :
Signature :	Signature :	Signature :
Nom :	Nom :	Nom : Marilyn Désy
Date :	Date :	Date :

Appendice B

Certificat d'éthique de la recherche

ClicCours.com



CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES ÊTRES HUMAINS

En vertu du mandat qui lui a été confié par l'Université, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a analysé et approuvé pour certification éthique le protocole de recherche suivant :

Titre : Le recours aux modèles et à la démarche de modélisation pour comprendre des concepts abstraits en science et technologie au secondaire : perception d'élèves et modes d'utilisation

Chercheur(s) : Marilyn Desy
Département des sciences de l'éducation

Organisme(s) : Aucun financement

N° DU CERTIFICAT : CER-17-239-07.21

PÉRIODE DE VALIDITÉ : Du 31 octobre 2017 au 31 octobre 2018

En acceptant le certificat éthique, le chercheur s'engage à :

- Aviser le CER par écrit des changements apportés à son protocole de recherche avant leur entrée en vigueur;
- Procéder au renouvellement annuel du certificat tant et aussi longtemps que la recherche ne sera pas terminée;
- Aviser par écrit le CER de l'abandon ou de l'interruption prématurée de la recherche;
- Faire parvenir par écrit au CER un rapport final dans le mois suivant la fin de la recherche.

Bruce Maxwell

Président du comité

Sophie Parent

Secrétaire du comité

Appendice C

Canevas des entretiens semi-dirigés

Entretiens semi-dirigés

Informations générales :

Nom de l'école : _____ Date : _____

Nom de l'enseignant(e) : _____

Niveau scolaire : _____ GR : _____

Nom de l'élève participant : _____

Rappel des objectifs poursuivis en faisant appel aux entretiens semi-dirigés:

1. Décrire la perception d'élèves du secondaire à l'égard des modèles pour appréhender des concepts particulièrement abstraits en S&T.
2. Décrire et expliquer les contributions potentielles des modèles dans l'appréhension de concepts particulièrement abstraits en S&T.

Consignes générales concernant le déroulement des entretiens

La durée de l'entretien est d'environ 10 à 15 minutes. Les entretiens débuteront par l'ouverture du magnétophone pour l'enregistrement. Le participant doit se nommer avant de prendre la parole. Il est à noter qu'il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses aux questions posées par l'étudiante-chercheuse.

Questions

Objectif 1 : Décrire la perception d'élèves du secondaire à l'égard des modèles pour appréhender des concepts particulièrement abstraits en S&T.

Thèmes	Exemples de questions	Réponses (mots clés)
<ul style="list-style-type: none">• Difficultés reliées à l'apprentissage et à la compréhension de la S&T (Q1)• Intérêt pour la SAE (Q2 à Q4)• Compréhension des concepts présents dans la SAE (Q5 et Q6)	<ol style="list-style-type: none">① Selon toi, qu'est-ce qui est difficile/facile en science et technologie? Explique et donne des exemples de concepts que tu juges difficiles, ou qui t'ont particulièrement posé des problèmes. Quelle sorte de problème?② Comment aimerais-tu que la science et la technologie soient enseignées afin que tu comprennes davantage? Explique.③ As-tu apprécié participer à cette SAE? Pourquoi?④ Qu'est-ce que tu as le plus aimé/le moins aimé dans la SAE? Pourquoi?⑤ Est-ce que la SAE t'a permis de bien comprendre [les concepts à l'étude]? Si oui, comment? Sinon, pourquoi?⑥ Explique-moi ce que tu as appris/compris durant cette	

	SAE.	
<ul style="list-style-type: none"> • Perception des modèles en science et technologie (Q7 et Q9) • Perception de la construction d'un modèle (Q10) • Expliquer l'utilité du modèle pour résoudre le problème et comprendre les concepts (Q11) • Perception de l'utilisation du 	<p>⑦ Qu'est-ce qu'un modèle pour toi? et un modèle en science et techno alors? (Mots clés)</p> <p>⑧ Est-ce que ton enseignant/e utilise des modèles en classe? Donne des exemples.</p> <p>⑨ Selon toi, à quoi servent les modèles en science et technologie?</p> <p>⑩ Que penses-tu du fait d'avoir construit toi-même un modèle plutôt que de l'avoir appris dans un manuel? Est-ce que ce serait intéressant de voir son apport par rapport à son ou sa coéquipier/ère?</p> <p>⑪ Est-ce que le fait d'avoir construit toi-même ton modèle t'a permis de mieux comprendre [les concepts à l'étude]? Pourquoi? Explique. Donne un exemple.</p> <p>⑫ Qu'est-ce que tu as trouvé le plus facile/le plus difficile dans la construction d'un modèle. Explique. <i>As-tu eu des complications/difficultés lors de la conception de ton modèle?</i></p>	

modèle pour comprendre (Q12 et Q14)	<p>⑬ Selon toi, pourquoi devrait-on construire des modèles? Explique.</p> <p>⑭ En quoi les modèles que tu as construits te permettent de comprendre [les concepts à l'étude]? Explique pourquoi et comment.</p>	
Objectif 2 : Décrire et expliquer les contributions potentielles des modèles dans l'appréhension de concepts particulièrement abstraits en S&T.		
Thèmes	Exemples de questions	Réponses (mots clés)
<ul style="list-style-type: none"> • Décrire le modèle conçu. (Q2) • Expliquer le processus de construction du modèle. (Q3) • Expliquer l'utilité du modèle pour résoudre 	<p>① Avais-tu déjà utilisé des modèles et si oui, dans quel contexte? Dans le futur, prévois-tu utiliser des modèles? Pourquoi? Où? Quand?</p> <p>② Décris-moi le modèle que tu as conçu.</p> <p>③ Comment tu t'y es pris pour construire ton modèle? (visualisation, schémas, utilisation du matériel, engrenages et poulies, tâtonnement, etc.). → processus de construction du modèle (adaptation/évolution).</p> <p>④ En quoi le modèle que tu as conçu te permet de participer à la résolution du problème de la SAE? Explique. Comment as-tu utilisé le modèle pour résoudre le problème de la SAE ? Explique. (Le modèle est un</p>	

le problème et comprendre les concepts. (Q4)	outil, un support ou un atout pour résoudre le problème?) ⑤ Pourquoi avoir choisi de concevoir [tel modèle] plutôt que [tel modèle]? Par exemple, un modèle schématique (modèle 2D) plutôt qu'un objet physique (modèle 3D).	
--	---	--

Merci de votre collaboration

Appendice D

Extrait du cahier de notes de cours « Alternance jour et nuit, alternance des
saisons » (p. 2)

