

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

INTERVENTION ALLOCENTRIQUE SUR LES PHASES DE LA LUNE DANS
UN PLANÉTIUM NUMÉRIQUE

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN ÉDUCATION

PAR
SIMON A. BÉLANGER

MARS 2021

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.10-2015). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
RÉSUMÉ	viii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I PROBLÉMATIQUE	4
1.1 L'enseignement de l'astronomie au Québec	5
1.2 Les ressources didactiques en astronomie.....	9
1.3 Le planétarium	11
1.3.1 Les planétariums traditionnels	12
1.3.2 La révolution numérique.....	16
1.3.3 Les éléments importants d'une séance éducative dans un planétarium traditionnel et numérique	19
1.4 Les phases de la Lune	21
1.5 Question de recherche.....	23
CHAPITRE II CADRE CONCEPTUEL	24
2.1 Changement conceptuel	25
2.1.1 Comment les enfants apprennent-ils les sciences ?	25
2.1.2 Vers une approche constructiviste	26
2.1.3 Le modèle de Posner <i>et al.</i>	30
2.2 Des conceptions alternatives.....	35
2.3 Les habiletés spatiales.....	39
2.4 Conclusion et objectifs spécifiques de recherche.....	44

CHAPITRE III MÉTHODOLOGIE	47
3.1 La recherche de développement.....	48
3.1.1 Définition	48
3.1.2 Avantages et inconvénients.....	51
3.2 Les sujets.....	52
3.3 Outils de collecte de données.....	53
3.3.1 Canevas d’entretien.....	54
3.3.2 Questionnaire à propos des phases de la Lune.....	56
3.4 Protocole	57
3.5 Analyse des données	59
3.5.1 Données qualitatives	59
3.5.1.1 Inductif pur.....	59
3.5.1.2 Inductif délibératoire.....	61
3.5.2 Données quantitatives	62
CHAPITRE IV RÉSULTATS ET ANALYSES	63
4.1 Première itération.....	65
4.1.1 Le scénario	66
4.1.2 L’entrevue de groupe	80
4.2 Deuxième itération.....	82
4.2.1 Changements dans le scénario	83
4.2.2 L’entrevue de groupe	87
4.3 Troisième itération	89
4.3.1 Changement dans le scénario.....	89
4.3.2 L’entrevue de groupe	90
4.4 Validation quantitative.....	91
4.5 Interprétations	98
4.5.1 Les éléments importants d’une séance dans un planétarium numérique	98
4.5.2 L’effet planétarium	101
CONCLUSION.....	103
ANNEXE A CANEVAS D’ENTRETIEN	105

ANNEXE B QUESTIONNAIRE À PROPOS DES PHASES DE LA LUNE.....	106
ANNEXE C LETTRE AUX PARENTS	118
ANNEXE D FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT...	120
BIBLIOGRAPHIE	125

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
2.1 Schéma des phases de la Lune lors d'une approche traditionnelle.....	28
2.2 Schéma du système solaire que l'on retrouve typiquement dans un manuel scolaire au primaire.....	37
2.3 Test de changement de perspective	42
3.1 Processus résumé de la recherche de développement.....	50
4.1 Choix des phases.....	66
4.2 Présentation de la réponse	67
4.3 Déplacement de la Lune	68
4.4 Les quatre phases croissantes	69
4.5 Le truc du d et du p	70
4.6 La Terre, le Soleil et la Lune vue de l'espace.....	71
4.7 Le dernier quartier depuis un point de vue allocentrique	73
4.8 Le dernier quartier depuis un point de vue géocentrique	73
4.9 Phases de la Lune en vue polaire.....	74

4.10	Récapitulatif.....	75
4.11	Vue des lunes galiléennes depuis Jupiter.....	77
4.12	Vue des phases de Vénus et Mercure depuis la Terre	78
4.13	Vue d'une phase terrestre depuis la Lune.....	79
4.14	Les ombres de la Lune et de la Terre projetées dans l'espace.....	84
4.15	Vue de côté des ombres de la Lune et de la Terre	85
4.16	Distribution des résultats du prétest.....	92
4.17	Distribution des résultats du posttest	93
4.18	Tracé Q-Q normal du prétest	94
4.19	Tracé Q-Q normal du posttest	94

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1.1 Liste des savoirs essentiels en astronomie dans le Programme de formation de l'école québécoise, éducation préscolaire et enseignement primaire	8
1.2 Études comparants le planétarium et la classe pour l'enseignement de concepts astronomiques	14
4.1 Changements effectués à chaque itération	90
4.2 Statistiques descriptives des tests	91
4.3 Tests de normalité Shapiro-Wilk	93
4.4 Tests t pour échantillons appariés	95
4.5 Taille d'effet	96

RÉSUMÉ

L'enseignement des phases de la Lune dans un cadre scolaire traditionnel présente de nombreuses lacunes : la Lune est souvent invisible pendant les heures normales de cours, le mauvais temps peut gêner les observations, le passage d'une phase à la suivante est lent, etc. De plus, de nombreuses recherches ont montré que l'expérience de regarder la Lune d'un point de vue géocentrique est souvent la source de conceptions alternatives comme l'idée que les phases sont causées par des nuages bloquant notre vue ou par l'ombre de la Terre projetée sur la Lune. Parmi les nombreuses solutions possibles à ces problèmes, la visite d'un planétarium a prouvé à plusieurs reprises son utilité pour l'apprentissage des concepts astronomiques. Depuis quelques années, de nouvelles technologies ont révolutionné les planétariums traditionnels. L'introduction de projecteurs et d'ordinateurs performants a permis de transformer le théâtre d'un planétarium en véritable vaisseau spatial qui permet au public de voir et d'expérimenter un point de vue qui diffère du géocentrisme. Alors que plusieurs études par le passé se sont concentrées sur les pratiques pédagogiques à employer dans un planétarium traditionnel, aucune, à notre connaissance, ne s'est intéressée aux éléments d'une séance allocentrique qui favorisent la compréhension d'un phénomène astronomique. Cette recherche consiste à relever, chez des élèves du 3^e cycle du primaire (10-12 ans), les éléments d'une séance allocentrique qui sont importants pour eux et qui favorisent la compréhension du phénomène des phases de la Lune.

Utilisant la recherche de développement, nous avons réalisé une séance au *Planétarium de Montréal* portant sur les phases de la Lune. Des données qualitatives ont été obtenues au cours d'entrevues semi-dirigées faisant suite aux différentes itérations de la séance. Des données quantitatives ont été recueillies avant et après la session à l'aide

d'un questionnaire à choix multiples sur différents aspects des phases de la Lune. Les données quantitatives nous ont permis de constater une progression significative de la compréhension du phénomène par les participants suite à la séance tandis que les données qualitatives ont permis de bonifier la séance et d'identifier de nouveaux éléments à tenir en compte lors de la conception de séances allocentriques dans les planétariums numériques.

À la lumière de cette recherche, le planétarium nous apparaît être un outil didactique performant et important dans le domaine de l'astronomie. Par ailleurs, les éléments qui ont été identifiés lors de cette recherche devraient être pris en compte par les réalisateurs et les concepteurs de séances de planétarium afin d'améliorer l'expérience des participants.

Mots-clés : didactique des sciences, astronomie, planétarium numérique, enseignement au primaire, phases de la Lune, recherche développement, ingénierie didactique.

INTRODUCTION

*« Oh, let the sun beat down upon my face
And stars fill my dream
I'm a traveler of both time and space
To be where I have been »
(Led Zeppelin, Kashmir)*

Cette recherche vise à explorer les nouvelles capacités qu'offrent les planétariums numériques. Nous tenterons d'élaborer des directives et des marches à suivre lors de la réalisation de séances éducatives dans de tels planétariums. Pour ce faire, nous réaliserons une séance sur les phases de la Lune dans un planétarium numérique en utilisant la recherche de développement. À chaque itération de la séance, nous collecterons des données qui nous permettront de la bonifier et de construire nos connaissances sur ce nouvel outil didactique que sont les planétariums numériques. Il est bon de noter que l'auteur de ce travail est aussi un communicateur scientifique au planétarium de Montréal.

Le premier chapitre exposera la situation de l'enseignement de l'astronomie dans les classes primaire du Québec. Nous constaterons que cet enseignement rencontre plusieurs défis et limites et est souvent mis de côté. Ces lacunes entraînent généralement de la part des élèves une mauvaise compréhension des phénomènes astronomiques, notamment des phases de la Lune. Parmi les nombreuses voies alternatives à l'enseignement traditionnel scolaire permettant d'enseigner des notions astronomiques à de jeunes élèves, nous explorerons celle des planétariums. Récemment, les planétariums ont vécu une véritable révolution numérique qui ouvre la porte à une

multitude de possibilités encore inexplorées. C'est aussi dans ce chapitre que nous justifierons le sujet de notre séance au planétarium, soit les phases de la Lune. Le chapitre se terminera avec la présentation de la question de recherche.

Le deuxième chapitre présentera le cadre conceptuel sur lequel reposera la séance de planétarium. Il sera question en premier lieu des changements conceptuels et de la façon dont les enfants apprennent les sciences. Parmi différents modèles de changement conceptuel, nous retiendrons celui de Posner *et al.* (1982). Suivant le paradigme du constructivisme dans l'enseignement des sciences, nous explorerons les différentes conceptions alternatives qu'ont les élèves du primaire au sujet des phases de la Lune. À travers ce chapitre, nous découvrirons aussi que, pour bien comprendre les phases de la Lune, certaines habiletés spatiales sont nécessaires, notamment la rotation mentale et le changement de perspective. C'est pourquoi nous les présenterons en dernière partie. Les deux objectifs spécifiques de recherche seront énoncés à la fin de la conclusion de ce chapitre.

Le troisième chapitre sera consacré à la méthodologie. Nous débuterons en présentant les fondements de la recherche de développement, ainsi que ses avantages et inconvénients. S'ensuivront le choix des sujets et la présentation des outils de collecte de données, soit l'entretien semi-dirigé et le questionnaire à propos des phases de la Lune.

La séance sera construite en se basant sur les principes de la recherche de développement. La cueillette d'information se fera au moyen d'une entrevue de groupe semi-dirigée suivant la présentation d'une séance sur les phases de la Lune au Planétarium de Montréal. De plus, lors de la dernière itération de la présente recherche, les participants devront répondre à un questionnaire portant sur les phases de la Lune avant et après la séance. Avec ces outils en main, le protocole de recherche sera exposé.

Le chapitre se terminera avec la présentation des moyens envisagés pour analyser les données recueillies.

La recherche se terminera par la présentation des résultats obtenus et une analyse de ceux-ci avant de conclure.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

« We choose to go to the Moon. We choose to go to the Moon in this decade and do the other things, not because they are easy, but because they are hard, because that goal will serve to organize and measure the best of our energies and skills, because that challenge is one that we are willing to accept, one we are unwilling to postpone, and one which we intend to win, and the others, too.»

John Fitzgerald Kennedy (1917-1963)

Ce chapitre débutera par la présentation de la situation de l'enseignement de l'astronomie dans les classes primaires du Québec suite à l'adoption, en 2001, du *Programme de formation de l'école québécoise* par le *Ministère de l'Éducation du Québec*. À la suite d'une exploration sommaire de divers outils et documentation pédagogiques disponibles auprès des enseignants du primaire, le planétarium sera suggéré comme l'outil idéal pour relever les défis que pose l'enseignement de l'astronomie au primaire.

Afin de bien comprendre cet outil didactique qu'est le planétarium, différentes études qui se sont intéressées à l'apport éducatif du planétarium seront présentées. Nous aborderons aussi un grand changement dans le domaine des planétariums avec l'introduction d'un nouveau type de planétariums qui est apparu au cours des dernières

années, soit le planétarium numérique. Enfin, pour savoir comment utiliser cet outil, une revue des différentes recherches qui se sont concentrées sur les éléments à adopter lors d'une séance dans un planétarium sera présentée. Dans le présent travail, les éléments d'une séance de planétarium peuvent être le scénario, la mise en scène, la bande sonore, les effets spéciaux, etc.

Cette revue conduira à la constatation que toutes ces recherches se sont déroulées uniquement dans le contexte des planétariums traditionnels. Pour explorer les éléments favorisant les apprentissages que l'on doit retrouver dans les planétariums numériques, nous proposerons de réaliser une séance sur le phénomène des phases de la Lune. Le chapitre se terminera en présentant la question de recherche.

1.1 L'enseignement de l'astronomie au Québec

L'astronomie est l'un des rares sujets qui fait naître chez tout le monde, petits et grands, jeunes et moins jeunes, une grande curiosité et fascination (Beare, 2007; Jarman et McAleese, 1996; Percy, 2005). Qu'importe la nationalité, nos yeux brillent et notre imagination s'emballe lorsqu'on parle de la Lune, de Saturne et des comètes. On ressent un vertige plaisant à découvrir les trous noirs, le Big Bang et l'étendue infinie de l'Univers. De plus, peu de sciences sont aussi accessibles à tout le monde, puisqu'il suffit de lever les yeux pour accéder au ciel étoilé. Tous, partout sur la Terre, ont déjà été en contact avec l'astronomie (Percy, 2005).

Néanmoins, ce n'est pas la simplicité de l'astronomie qui nous attire. Au contraire, les concepts astronomiques peuvent s'avérer très difficiles à comprendre et à maîtriser. Certains phénomènes astronomiques, tels que les phases de la Lune ou les saisons, nécessitent que l'on soit capable de s'imaginer et de manipuler mentalement un modèle

tridimensionnel de la Terre, de la Lune et du Soleil (Chastenay, 2015; Cole *et al.*, 2015; Kavanagh *et al.*, 2005; Vosniadou, 1994). Cette capacité à s'imaginer les interactions entre ces différents objets est essentielle à la bonne compréhension de ces phénomènes, mais s'avère très complexe à maîtriser (Black, 2005; Cole *et al.*, 2015). D'autre part, les échelles d'espace et de temps utilisées en astronomie nous sont étrangères et très difficiles à bien saisir et imaginer (Bakas et Mikropoulos, 2003). Enfin, notre point de vue géocentrique sur le cosmos, les deux pieds sur la Terre avec la voûte céleste qui, selon toute apparence, forme un dôme au-dessus de notre tête, est à l'origine de nombreuses conceptions qui divergent des théories scientifiques admises aujourd'hui (Vosniadou et Brewer, 1992).

L'accessibilité de l'astronomie, jumelée à sa complexité, fait naître chez de nombreuses personnes des conceptions alternatives. Ces conceptions sont des théories personnelles développées par l'observateur pour expliquer rapidement un phénomène dont il est témoin (Kavanagh *et al.*, 2005; Küçüközer *et al.*, 2009; Palmer, 2007; Vosniadou, 1991). Ces conceptions se développent souvent en se basant sur des observations non systématiques et incomplètes, ce qui les place, la plupart du temps, en désaccord avec les théories admises par la communauté scientifique (Chastenay, 2013). Néanmoins, les conceptions semblent parfaitement sensées pour l'individu, ce qui pose une difficulté importante lorsque vient le moment d'enseigner des concepts scientifiques (Küçüközer, 2008; Küçüközer *et al.*, 2009; Palmer, 2007). Dans les écrits scientifiques, plusieurs synonymes décrivent les conceptions alternatives comme des « misconceptions » en anglais, conceptions erronées ou encore fausses conceptions. Puisque nous voulons éviter de porter un jugement négatif sur les théories personnelles des élèves et que nous considérons ces théories comme des construits que l'on cherche à faire évoluer vers les concepts scientifiques, plutôt que des erreurs à corriger, nous avons choisi l'expression « conception alternative » pour y faire référence dans ce travail.

Malgré ces difficultés, l'astronomie est une science utile qui doit être présente dans le curriculum scolaire (Ampartzaki et Kalogiannakis, 2015; Percy, 2005). L'astronomie est en effet présente dans toutes les cultures et elle a des implications philosophiques et historiques importantes (Bailey et Slater, 2003; Percy, 2005). C'est aussi une science de pointe qui tire les autres domaines scientifiques et technologiques vers l'avant et nous permet d'en apprendre plus sur nos origines et celle de l'Univers (Percy, 2005). Enfin, Percy (2005) nous rappelle que l'astronomie est une science dont les aspects esthétiques sont importants et dont l'influence va plus loin que le seul domaine des sciences. Les objets astronomiques, tels que les nébuleuses et les galaxies, sont des objets d'études qui ont été reproduits dans divers médias artistiques depuis des décennies.

Admettant que l'enseignement de l'astronomie soit fondamental à la compréhension du monde qui nous entoure et de la place que nous y occupons, et rejoignant en cela les grandes organisations mondiales (OCDE, 2007; UNESCO, 2008) qui affirment que la science et la technologie sont essentielles pour le monde de demain, le *Programme de formation de l'école québécoise* du *Ministère de l'Éducation du Québec* inclut, depuis 2001, plusieurs apprentissages en astronomie au primaire. Notons qu'avant l'introduction de ce programme, il y avait peu ou pas de référence à l'apprentissage de tels savoirs dans les anciens curriculums scolaires (Thouin, 2015). Le tableau 1.1 résume les savoirs essentiels en astronomie inscrits au Programme de formation de l'école québécoise pour chaque cycle.

Tableau 1.1 Liste des savoirs essentiels en astronomie dans le Programme de formation de l'école québécoise, éducation préscolaire et enseignement primaire et dans la Progression des apprentissages (Ministère de l'Éducation, 2006, 2009)

Savoir essentiel	Cycles		
	1	2	3
Lumière et ombre	●		
Le système Terre-Lune-Soleil	●	●	
Énergie solaire		●	
La rotation de la Terre		●	
Les marées			●
Le système solaire			●
Les saisons			●
Les étoiles et les galaxies (ex. : constellations)		●	●
Technologies de la Terre, de l'atmosphère et de l'Espace		●	●
Utilisation d'instruments d'observations simples (ex. : jumelles, télescope, binoculaire)		●	●
Utilisation d'une terminologie liée à la compréhension de la Terre et de l'Univers		●	●
Les phases de la Lune et les éclipses		●	

Nonobstant ces ajouts au programme scolaire, l'enseignement de l'astronomie au Québec rencontre plusieurs défis et limites. Une étude portant sur l'enseignement de l'astronomie dans les classes primaires du Québec a été réalisée par Chastenay en 2018. L'étude a interrogé, à l'aide d'un questionnaire en ligne, 500 enseignants du primaire sur leurs objectifs d'enseignement de l'astronomie, les ressources qu'ils utilisent, l'efficacité de la formation initiale et continue en astronomie et leurs expériences en science et technologie. L'étude conclut :

« [...] that only half of the teachers surveyed actually teach astronomy to their class, mostly by using reading and writing material, and that 39% of "Astronomy teachers" in our sample teach astronomy to their class between 6 and 10 hours per year.»
(Chastenay, 2018, p. 1)

En somme, même si différentes connaissances astronomiques sont au *Programme de formation de l'école québécoise*, leur enseignement est loin d'être généralisé dans les classes des écoles primaires du Québec. L'auteur de l'étude citée précédemment explique que ce résultat est attribuable à plusieurs facteurs, dont les plus importantes sont le manque d'expérience et de connaissance en astronomie de la part du corps enseignant et un manque d'équipement et de ressources afin de bien enseigner cette science (Chastenay, 2018). Une révision du cursus universitaire des enseignants du primaire nous semble trop ambitieuse pour un mémoire de maîtrise et risque de prendre beaucoup de temps avant de donner des résultats tangibles. Nous avons donc décidé de nous intéresser aux différentes ressources didactiques disponibles pour l'enseignement de l'astronomie au primaire et qui pourraient venir appuyer le travail des enseignants du primaire souhaitant enseigner cette matière à leurs élèves.

1.2 Les ressources didactiques en astronomie

Pour enseigner l'astronomie, la majorité des enseignants du primaire au Québec qui abordent cette matière dans leur classe ont recours à des ressources qui font appel à la lecture (Internet, manuels scolaires, livres, magazines, etc.) (Chastenay, 2018). En conséquence, l'enseignement de l'astronomie se base majoritairement sur du matériel qui représente les phénomènes astronomiques en 2 dimensions seulement (dessins, diagrammes, etc.). Or, ces représentations ne sont pas toujours adéquates pour expliquer la complexité tridimensionnelle des phénomènes astronomiques (Chastenay, 2013; Fluke et Barnes, 2008; Küçüközer *et al.*, 2009). Il est vrai qu'avec l'Internet et dans certaines publications, on peut retrouver des modèles et des animations en 3 dimensions. Toutefois, la plupart de ces représentations n'offrent qu'une seule perspective et ne sont pas à l'échelle. Ces schémas 3D ne sont donc pas d'une grande

efficacité et sont souvent à l'origine de nouvelles conceptions alternatives de la part des apprenants (Kücüközer *et al.*, 2009).

L'observation directe du ciel est notre premier contact avec l'astronomie et nous permet de voir et de vivre divers phénomènes astronomiques. Malheureusement, il est souvent difficile de jumeler l'observation directe de ces phénomènes et la réalité académique. La plupart des phénomènes astronomiques ne sont visibles que la nuit, ce qui pose plusieurs problèmes d'organisation, ne serait-ce que la difficulté pour de jeunes élèves du primaire de les observer en pleine nuit. D'autres phénomènes, comme les éclipses, sont extrêmement rares et de nombreux phénomènes cycliques, tels que les phases de la Lune et les saisons, prennent plusieurs semaines, voire des mois, à se réaliser complètement. Enfin, n'oublions pas les caprices de la météo qui pourraient gêner et complètement masquer des observations cruciales pendant de longues périodes. On comprend rapidement qu'il est difficile d'utiliser l'observation directe des phénomènes astronomiques dans le contexte scolaire. Toutefois, ce n'est pas parce que l'exercice est difficile qu'il n'amène pas de résultat. Par exemple, l'utilisation d'un carnet d'observation dans le cadre d'une activité d'observation des phases de la Lune a démontré son utilité en permettant à un grand nombre d'élèves de mieux concevoir le phénomène (Vosniadou, 1994).

Les technologies se développant constamment, aujourd'hui, la plupart des classes primaires du Québec ont accès à un ordinateur et à une connexion Internet rapide. Cela permet l'utilisation de logiciels d'astronomie par une plus grande partie des élèves, surtout considérant que certains de ces logiciels sont gratuits (par exemple, Stellarium). En outre, ces logiciels permettent de voir et d'identifier les différents éléments qui composent le ciel nocturne tels que les constellations, les planètes, la Voie lactée, etc., sans être limités par l'heure de la journée ou gênés par la météo. De plus, il est possible d'avancer ou de reculer dans le temps, en accéléré, afin de voir, en quelques minutes,

un phénomène qui prendrait des semaines en réalité. Enfin, certains logiciels permettent même de transformer l'écran de l'ordinateur en vaisseau spatial et ainsi offrir un point de vue dans l'espace, différent du traditionnel point de vue géocentrique. Mais l'écran d'ordinateur à travers lequel on observe ces simulations demeure bidimensionnel et ne permet pas une immersion totale. C'est une sorte de fenêtre sur l'univers qui, malgré le réalisme des détails affichés, reste un environnement artificiel et ne change pas profondément les conceptions alternatives que les utilisateurs pourraient avoir (Winn, 1993; Zimmerman *et al.*, 2014).

Il existe par contre une ressource qui permet d'expérimenter un environnement immersif, sans contrainte météorologique, laissant le loisir de manipuler le temps et l'espace à notre guise : le planétarium.

1.3 Le planétarium

Le planétarium, en tant que musée de l'astronomie, met à la disposition du visiteur des simulations réalistes des phénomènes astronomiques. Il permet l'exploration de différents phénomènes astronomiques à l'aide d'un environnement immersif qui palie aux limites de la classe et des livres, aux aléas de la météo, etc. Cette section débutera en présentant les planétariums traditionnels optomécaniques, leurs caractéristiques, leur efficacité et leurs limites. Ensuite, nous présenterons l'évolution récente des planétariums numériques et ce qu'ils offrent comme nouvelles possibilités. Enfin, nous exposerons les études qui se sont intéressées aux éléments d'une séance dans un planétarium qui favorisent l'apprentissage.

Il est important de souligner que parfois, le terme planétarium est employé à la fois pour désigner la salle de projection et le bâtiment où l'on retrouve cette salle. Dans ce

travail, le terme planétarium servira à décrire exclusivement la pièce hémisphérique où l'on simule la voûte céleste.

1.3.1 Les planétariums traditionnels

Depuis leur apparition dans le milieu des années 1920 jusqu'au début du 21^e siècle, les planétariums dits traditionnels n'ont pas subi de changement notable (Chartrand III, 1973; Marché II, 1999, 2001). Ce sont des environnements immersifs pouvant simuler divers mouvements de la voûte céleste en accéléré. Ils le font grâce à deux éléments fondamentaux : le projecteur d'étoiles et la forme en dôme du plafond du théâtre. Le théâtre d'un planétarium est une pièce circulaire surmontée d'un plafond en forme de dôme qui sert d'écran. Au centre de cette salle, on retrouve un projecteur d'étoiles, un instrument optomécanique aussi appelé planétaire. Ce projecteur reproduit la voûte céleste sur le plafond de la salle. Avec l'ajout d'autres projecteurs spécialisés, il est aussi possible de projeter des objets comme la Lune, les planètes et la Voie lactée. Cette capacité de projection, jumelée à la forme du théâtre, permet d'occuper la totalité du champ de vision du visiteur et contribue à l'immersion et au sentiment de présence.

L'immersion est la capacité pour un environnement virtuel de reproduire, le plus fidèlement possible, les conditions sensorielles que l'on expérimenterait dans le monde réel (Mikropoulos et Natsis, 2011; Schnall *et al.*, 2012; Winn, 1993). Le sentiment de présence est, quant à lui, la sensation qu'a un individu de se sentir présent dans l'environnement virtuel qui est reproduit dans le théâtre (Mikropoulos et Natsis, 2011; Schnall *et al.*, 2012; Winn, 1993). Ainsi, l'individu qui assiste à une présentation dans un planétarium n'a pas le sentiment de se trouver dans un théâtre, mais plutôt à l'extérieur, dans un champ, sous le ciel étoilé.

En outre, les appareils de projection d'un planétarium permettent de déplacer les astres dans le ciel plus rapidement que le passage régulier du temps. Ainsi, un visiteur peut

observer un cycle lunaire complet en seulement quelques minutes plutôt qu'en 28 jours. Il pourrait aussi être témoin du mouvement du Soleil dans le ciel au cours de l'année (analemme), phénomène difficile à bien observer dû à sa progression extrêmement lente et à sa longueur temporelle. Qui plus est, le théâtre a aussi la capacité de faire voyager les spectateurs. Il est donc possible d'observer le même phénomène astronomique depuis plusieurs endroits sur la Terre (équateur, tropiques, pôles, etc.).

Les caractéristiques d'immersion, de sentiment de présence, de passage accéléré du temps et de déplacement sur Terre, possibles dans un planétarium, suscitent le questionnement suivant : est-ce que l'utilisation du planétarium devrait être favorisée, plutôt que la classe, pour enseigner des concepts astronomiques ? Au cours de la deuxième moitié du 20^e siècle, de nombreuses recherches ont tenté de répondre à cette question, sans qu'un véritable consensus s'établisse. En 2009, (Brazell et Espinoza) ont publié une méta-analyse portant sur 19 études qui ont comparé l'impact de l'utilisation d'un planétarium dans l'apprentissage d'un concept astronomique par rapport à une démonstration en classe du même phénomène. Les études incluses dans la méta-analyse s'étendent de 1966 à 2007 et ont été sélectionnées selon les cinq principes suivants :

1. L'étude a été faite avec des élèves qui apprenaient l'astronomie;
2. L'étude a utilisé des groupes comparatifs;
3. L'étude a utilisé un type de recherche expérimentale ou quasi expérimentale;
4. L'étude comparait le planétarium et la classe, rien d'autre;
5. L'étude fournissait suffisamment de données statistiques pour en faire l'analyse.

Le tableau 1.2 présente ces 19 recherches, disposées en deux colonnes. La colonne de gauche regroupe les recherches qui affirment avoir noté une différence significative positive dans l'apprentissage d'un concept astronomique en utilisant un planétarium par rapport à la classe, tandis que la colonne de droite regroupe celles qui n'ont pas trouvé d'avantage significatif à utiliser un planétarium lors d'un tel apprentissage.

Tableau 1.2 Études comparants le planétarium et la classe pour l'enseignement de concepts astronomiques selon Brazell et Espinoza (2009)

Avantage	Aucun avantage
Tuttle (1966)	Smith (1966)
Wright (1968)	Rosemergy (1968)
Yee, Baer et Holt (1971)	Reed (1970a)
Dean et Lauck (1972)	Reed (1970b)
Ridky (1975)	Reed et Campbell (1972)
Hayward (1975)	Pitluga (1971)
Sonntag (1981)	Sunal (1973)
Edoff (1982)	Twiest (1989)
Baxter et Preece (2000)	Baxter et Preece (2000)
Palmer (2007)	

Notons le cas intéressant de l'étude de Baxter et Preece (2000) qui se trouve dans les deux colonnes et qui se démarquent du lot. Leur étude conclut que le planétarium n'a pas d'effet significatif sur les élèves en général, sauf si l'on ne considère que les filles, qui voient alors leur habileté spatiale améliorée. Le concept astronomique abordé par les études effectuées variait souvent, mais l'un des plus populaires était les phases de la Lune (Rosemergy (1968), Pitluga (1971), Edoff (1982), Palmer (2007)).

Au terme de leur méta-analyse, Brazell et Espinoza (2009) ont conclu que :

« The present meta-analytic study revealed that planetariums could be used to produce positive effects in student learning [...]. As such, [...] educational institutions should incorporate planetarium instruction into the science curriculum. »

Ainsi, les planétariums traditionnels seraient bel et bien un outil à valoriser dans l'enseignement de l'astronomie. De plus, Brazell et Espinoza (2009) recommandent que la visite du planétarium se retrouve au programme des écoles. Le Québec serait ainsi bien positionné puisqu'il dispose, à Montréal, de l'un des planétariums les plus modernes au monde, le Planétarium Rio Tinto Alcan (PRTA) qui a ouvert ses portes en avril 2013.

De leur côté, Mikropoulos et Natsis (2011) ont travaillé sur une revue des recherches sur les environnements de réalité virtuelle. Cette revue a analysé 53 recherches publiées entre 1999 et 2009. Ils ont exclu de leur analyse les recherches qui ne présentaient pas de résultats empiriques, ainsi que les recherches portant sur les environnements de réalité augmentée¹. Les chercheurs se sont aussi penchés sur l'utilisation du constructivisme dans chacune des études, évaluant si les auteurs suivaient les principes du constructivisme décrit par Jonassen (1994). Ils concluent que les environnements de réalité virtuelle contribuent favorablement à l'apprentissage. Ils ont identifié 4 éléments qui participent à ce succès : l'interactivité, l'environnement immersif, le sentiment de présence et l'utilisation du constructivisme comme approche didactique. De ces 4 éléments, 2 sont toujours présents dans les planétariums : le sentiment de présence et l'immersion. L'interactivité et l'utilisation du constructivisme dépendent de la séance et il est parfaitement envisageable d'en construire une suivant ces principes (Chastenay, 2015). En somme, cette recherche vient appuyer celle de Brazell et Espinoza (2009) qui suggère l'utilisation des planétariums comme outil didactique dans l'enseignement de l'astronomie.

Toutefois, les planétariums traditionnels ne sont pas sans reproche. La visite au planétarium devrait s'inscrire dans le cadre d'un apprentissage qui commence et se poursuit en classe et non pas en tant que ressource unique de cet apprentissage (Reed et Campbell, 1972; Slater et Tatge, 2017; Sunal, 1973; Urke et Laerarhogskule, 1993; Yee *et al.*, 1971). Notons aussi que l'incapacité de pouvoir montrer un point de vue différent du géocentrisme limite les planétariums traditionnels à une projection bidimensionnelle de l'univers. Ainsi, en montrant exactement les mêmes phénomènes que l'on peut observer depuis la surface terrestre, ces planétariums renforcent les

¹ Mélange de réalité virtuelle superposée à un environnement réel.

mêmes conceptions qui sont nées de ce point de vue géocentrique unique (Chastenay, 2013; Fluke et Barnes, 2008; Küçüközer *et al.*, 2009).

Slater et Tatge (2017) concluent à propos des planétariums traditionnels que :

« [...] *extra effort is required to convey the true three-dimensional nature of the cosmos and the complicated spatial relationships that exist therein.* »

Il faudrait donc être capable de proposer aux visiteurs un point de vue différent sur des systèmes astronomiques tridimensionnels et dynamiques pour vraiment faciliter leurs apprentissages en astronomie. Un point de vue qui ne serait pas uniquement centré sur la Terre, mais qui permettrait d'explorer, en 3 dimensions, l'Univers, les différents éléments qui le composent, ainsi que leurs relations dynamiques. Utilisant ce point de vue « de l'espace », il deviendrait possible de voir un même phénomène astronomique sous différents angles. C'est ce que l'on définit comme le point de vue allocentrique² et depuis quelques années, un nouveau type de planétarium, le planétarium numérique, permet de présenter ce point de vue.

1.3.2 La révolution numérique

Avec les nouvelles technologies numériques de la première décennie du 21^e siècle, les planétariums sont en train de vivre une véritable révolution. Les nouveaux projecteurs et les ordinateurs de plus en plus performants permettent la construction de planétariums numériques.

² Allocentrique : de allo-, préfixe signifiant autre, différent, et -centrique signifiant centre.

D'un point de vue architectural, un planétarium numérique est très semblable à un planétarium traditionnel. Les deux sont des environnements de réalité virtuelle immersive avec un plafond en forme de dôme qui fait office d'écran. Certains planétariums numériques possèdent un projecteur d'étoiles optomécanique au centre tandis que d'autres n'en ont pas. Cependant, la grande différence qui existe entre les deux types de planétariums, traditionnels et numériques, se situe dans leur capacité de projection d'images. Les planétariums numériques sont équipés de projecteurs vidéo de haute qualité qui ont la capacité de remplir l'écran, et donc le champ visuel du spectateur, à l'aide d'images de synthèse, de vidéos et de représentations réalistes de divers phénomènes astronomiques. Certains planétariums vont utiliser ces projecteurs pour reproduire la voûte céleste, raison pour laquelle ils n'utilisent pas de projecteur d'étoiles central optomécanique. Cette capacité de projection numérique est rendue possible par les projecteurs vidéo, bien sûr, mais aussi par des ordinateurs ultra-rapides. On retrouve, au sein de ces ordinateurs, des logiciels modernes de cartographie spatiale, des cartes graphiques extrêmement puissantes et de nombreuses banques de données. Ces systèmes, couplés aux projecteurs vidéo, permettent ainsi de présenter le ciel étoilé, le système solaire, la galaxie, etc. avec une grande précision et en se basant sur les données scientifiques les plus récentes. Le planétarium devient ainsi, pour le spectateur, un véritable vaisseau spatial, permettant de naviguer dans l'espace tridimensionnel et d'explorer différents points de vue. Le visiteur peut ainsi découvrir l'Univers avec un autre regard que le seul point de vue géocentrique. Ces nouveaux points de vue allocentriques permettent de revisiter des phénomènes astronomiques communs, comme les phases de la Lune, afin de les expliquer adéquatement, sans les biais et limitations du géocentrisme et, possiblement, de faire évoluer les conceptions alternatives des spectateurs (Chastenay, 2015).

En raison de la relative nouveauté des planétariums numériques, peu de recherches ont été faites sur leur efficacité et leur optimisation (Slater et Tatge, 2017). De celles qui

ont été faites et qui ont exploité le point de vue allocentrique, soulignons celle de Chastenay (2015). Sa recherche portait sur un petit groupe d'élèves du primaire (12-14 ans) et leur compréhension des phases de la Lune. Utilisant une recherche de développement, Chastenay a testé la première itération d'un scénario éducatif allocentrique sur les phases de la Lune dans un planétarium numérique. Des données qualitatives ont été recueillies avant, pendant et après la séance pour permettre de suivre l'évolution des conceptions alternatives des participants. La recherche conclut qu'à la suite de leur visite au planétarium, 4 des 6 participants ont démontré une importante évolution conceptuelle. L'étude porte sur un petit échantillon, mais illustre tout de même le potentiel éducatif des planétariums numériques et le point de vue allocentrique qu'ils favorisent.

Dans une étude publiée en 2015, Yu *et al.* (2015) ont utilisé un échantillon beaucoup plus important de 810 étudiants du premier cycle universitaire. Ces étudiants, qui n'étudiaient pas en science, ont été divisés en trois groupes. Le premier groupe est le groupe contrôle qui n'a reçu aucun traitement particulier dans l'enseignement (approche magistrale). Le second groupe a assisté à une présentation au sujet du cycle des saisons sur un écran plat dans une salle de cours. Enfin, les élèves du troisième groupe ont vu cette même présentation projetée dans un planétarium numérique. Utilisant un prétest et un post-test, Yu *et al.* (2015) ont montré que les étudiants du troisième groupe avaient obtenu un résultat significativement supérieur aux deux premiers groupes. Cette recherche vient donc rejoindre celle de Chastenay (2015) mais aussi les travaux de Carsten-Conner *et al.* (2015) ainsi que Zimmerman *et al.* (2014) qui voient un avantage certain à utiliser les planétariums numériques et le point de vue allocentrique en éducation.

1.3.3 Les éléments importants d'une séance éducative dans un planétarium traditionnel et numérique

Afin de réaliser une séance permettant l'apprentissage d'un concept astronomique dans un planétarium, de nombreuses études se sont intéressées aux différents éléments qui y contribuent. Afin de ne pas alourdir la lecture, nous présenterons seulement les études qui nous semblent les plus pertinentes dans le contexte de ce travail.

Mallon (1974) a démontré l'importance de la présence physique d'un animateur dans un planétarium. Dans son étude, il présentait deux programmes de planétarium identiques à des élèves de 2^e année, l'un avec un animateur commentant en direct et le second avec une bande narrative préenregistrée. Les élèves ayant assisté à la séance avec un animateur ont mieux performé au post-test que le second groupe.

Dans ses études, Ridky (1974, 1975) s'est concentré sur l'accueil du public dans un planétarium. Utilisant deux programmes identiques avec des élèves de 8^e année, il a montré que les élèves ayant reçu une session d'orientation (présentation de l'architecture de la salle et de ses équipements) avant la présentation du programme avaient une meilleure rétention de l'information et performaient mieux au post-test. Ridky a intitulé « démystification du planétarium » cette session d'orientation où l'on présente les projecteurs, l'écran en forme de dôme, le fonctionnement du projecteur d'étoiles, etc. Dans un même ordre d'idée, Bisard (1979) a démontré l'importance d'un mot de bienvenue résumant la séance à venir, que ce soit fait par un animateur en direct, préenregistré, ou simplement projeté sur l'écran.

En ce qui concerne la trame sonore et musicale d'une séance dans un planétarium, Wooten (1979) a comparé deux groupes de spectateurs ayant assisté à un spectacle commenté en direct, l'un avec trame musicale et l'autre sans. Son étude a montré que la trame musicale pouvait parfois nuire à la compréhension lorsqu'elle n'était pas bien

synchronisée aux éléments visuels. Notons toutefois que, lorsque la bande musicale est bien synchronisée avec le spectacle, les résultats obtenus sont différents. Brunello (1992) a découvert un effet positif sur l'apprentissage. La trame musicale et sonore vient, au mieux, améliorer l'expérience, mais peut aussi être la source de distractions qui minent l'apprentissage.

On note également que le succès du planétarium réside dans son impact visuel et il devrait se concentrer sur cet aspect (Gutsch, 1978). Se basant sur le succès visuel du planétarium, Hunt (1991) a démontré qu'il est important que les spectateurs aient le temps de s'approprier les informations visuelles. De plus, lors de certaines situations où il y a beaucoup d'information à traiter, il est pertinent d'orienter le visiteur, à l'aide d'un pointeur, de flèches, etc., vers certains éléments importants (Hunt, 1991).

Plusieurs chercheurs (Bakas et Mikropoulos, 2003; Friedman *et al.*, 1976; Mergler, 1975; Schafer, 1977) se sont intéressés à la forme du scénario que devrait adopter une séance didactique dans un planétarium. Ils ont comparé des approches participatives (*ask & do*) et des approches plus traditionnelles (*show & tell*). Dans la majorité des recherches (Fletcher, 1977; Friedman *et al.*, 1976; Mergler, 1975; Schafer, 1977), une approche misant sur la participation du public était plus appréciée et donnait de meilleurs résultats au niveau de l'apprentissage. Toutefois, notons qu'il y aurait certaines précautions à adopter. Dans leur recherche, Bakas et Mikropoulos (2003) ont étudié l'apprentissage de divers concepts astronomiques (le mouvement de la Terre et du Soleil, le cycle diurne et les saisons) par 102 élèves du secondaire dans un environnement virtuel contrôlé par les utilisateurs. Ils notent, dans leur conclusion, qu'il est préférable d'accompagner les élèves dans leur navigation plutôt que de les laisser aller librement.

En somme, les séances didactiques au sein d'un planétarium devraient être présentées en direct par un animateur présent dans la salle. Celui-ci devrait commencer en présentant le théâtre et ses accessoires ainsi que le programme de la séance. La séance devra faire une place mesurée à la trame musicale bien synchronisée et se concentrer sur l'information visuelle, tout en attirant le regard des spectateurs vers les éléments les plus importants. En outre, l'animateur et les concepteurs de la séance devraient se coordonner afin de faire vivre aux spectateurs une expérience immersive et interactive.

Les recherches évoquées précédemment ont été menées à l'aide de planétariums traditionnels, mais qu'en est-il des planétariums numériques ? Avec les nouveaux points de vue qu'offrent ces planétariums, que savons-nous des éléments qu'une séance allocentrique dans un planétarium numérique devrait adopter pour favoriser l'apprentissage d'un concept astronomique ? Nous n'avons aucune raison de croire que les éléments notés dans les planétariums traditionnels ne pourraient pas être utilisés lors d'une telle séance, mais peut-être que d'autres éléments, liés exclusivement au point de vue allocentrique, ont leur importance ? À notre connaissance, aucune recherche ne s'est encore penchée sur cette question (Slater et Tatge, 2017).

1.4 Les phases de la Lune

La question qui se pose maintenant est de savoir quel devrait être l'objet d'une séance dans un planétarium numérique visant à répondre à ces questionnements. L'astronomie étant un domaine très vaste, de nombreux objets existent et seraient adéquats pour cette étude. Toutefois, puisqu'il est question de l'enseignement de l'astronomie dans les classes du primaire du Québec, il serait pertinent de restreindre le nombre de sujets à ceux qui sont visés par le programme scolaire et adaptés pour ce groupe d'âge. De plus, les élèves du primaire n'ont qu'un temps restreint dans leur horaire pour venir visiter

le planétarium, il faut donc aussi tenir compte de cette réalité. Avec ces contraintes et plusieurs autres raisons qui seront évoquées plus loin, nous avons retenu les phases de la Lune comme sujet de l'intervention. C'est un objet qui peut être présenté relativement rapidement (quelques dizaines de minutes) de manière assez complète à un auditoire d'élève du primaire. Les phases de la Lune font également partie des apprentissages visés par le Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur depuis 2001³ (Ministère de l'Éducation, 2006).

De plus, les phases de la Lune sont un phénomène que tout le monde, y compris les élèves, ont déjà observé. Puisque la Lune est un objet très brillant (deuxième objet le plus brillant dans le ciel après le Soleil), on peut aisément la voir même depuis la ville. Malgré cela, c'est un des phénomènes les plus complexes à enseigner et à apprendre (Chastenay, 2013, 2015; Kavanagh *et al.*, 2005; Palmer, 2007). Il faut être capable, pour bien maîtriser le sujet, de se représenter, en trois dimensions, le système Terre-Soleil-Lune. Cela s'avère très difficile à réussir en n'utilisant que des livres ou un tableau en classe (Kavanagh *et al.*, 2005). En outre, les planétariums ont démontré leur capacité à transmettre ce concept d'astronomie mieux que la classe (Chastenay, 2015; Palmer, 2007; Türk et Kalkan, 2015). C'est aussi un phénomène qui a fait l'objet de plusieurs études en didactique, notamment d'un point de vue géocentrique (Rosemergy (1968), Pitluga (1971), Edoff (1982), Palmer (2007)), mais aussi allocentrique (Chastenay, 2015). Ces études pourront donc servir de référence à notre recherche.

³ En 2001, ce ministère portait le nom de Ministère de l'Éducation du Québec (MEQ)

1.5 Question de recherche

L'enseignement de l'astronomie dans les classes primaires du Québec rencontre plusieurs défis et limites. Cet enseignement est souvent mis de côté, mais lorsque cette matière est enseignée, c'est habituellement à l'aide de manuels scolaires ne permettant pas à l'élève de se représenter aisément les concepts astronomiques dans un univers tridimensionnel (Chastenay, 2014). Ces lacunes entraînent généralement une mauvaise compréhension des phénomènes astronomiques, notamment des phases de la Lune. Parmi de nombreuses solutions possibles, la visite d'un planétarium a prouvé plusieurs fois son utilité pour l'apprentissage de concepts astronomiques (Brazell et Espinoza, 2009). Depuis quelques années, de nouvelles technologies ont révolutionné les planétariums traditionnels. L'entrée en scène de projecteurs et d'ordinateurs performants a permis de transformer le théâtre d'un planétarium en véritable vaisseau spatial qui permet au public de voir et d'expérimenter un point de vue qui diffère du géocentrisme. Alors que plusieurs études par le passé se sont concentrées sur les éléments de scénarisation à mettre en œuvre dans un planétarium traditionnel, aucune, à notre connaissance, ne s'est intéressée aux éléments d'une séance allocentrique qui favorisent la compréhension d'un phénomène astronomique. C'est afin d'apporter plus d'information sur l'utilisation de ces nouvelles technologies pour l'enseignement de l'astronomie au primaire que la présente recherche tentera de répondre à la question suivante : **Quels sont les éléments de l'expérience allocentrique dans un planétarium numérique qui favorisent l'apprentissage des phases de la Lune par des élèves du primaire ?**

CHAPITRE II

CADRE CONCEPTUEL

*« La Terre est le berceau de l'humanité, mais on ne
passe pas sa vie entière dans un berceau. »*
Constantin Edouardovitch Tsiolkovski (1857-1935)

Ce chapitre sera consacré à la présentation des principaux concepts sur lesquels la recherche reposera. Dans le précédent chapitre et à travers la question de recherche, nous avons évoqué le fait que nous nous intéressions à l'apprentissage des phases de la Lune par des élèves du primaire. Puisque nous tentons de déterminer ce qui favorise un tel apprentissage, il faut être en mesure de savoir comment les enfants apprennent. Cette réflexion nous mènera au constructivisme et au modèle du changement conceptuel de Posner *et al.* (1982). Le constructivisme et le modèle de Posner et al. accordent une grande importance aux connaissances initiales de l'apprenant. Suivant cette prémisse, nous explorerons, en deuxième partie de ce chapitre, les conceptions qu'ont les enfants (6-12 ans) à propos des phases de la Lune et du système Terre-Soleil-Lune. Cette section révélera les difficultés qu'ont les élèves à comprendre et à s'imaginer le système Terre-Soleil-Lune et ses interactions, ce qui mène à des conceptions alternatives à propos du phénomène des phases de la Lune. Pour bien comprendre le phénomène, les élèves doivent en effet être capables de se représenter

mentalement le système Terre-Soleil-Lune en trois dimensions et de manière dynamique. Cette faculté fait appel à un type d'habileté mentale appelé habiletés spatiales. Ces habiletés sont cruciales pour comprendre les phases de la Lune et nous les détaillerons en troisième partie de ce chapitre. L'exploration de ces différents concepts nous amènera à formuler les objectifs spécifiques de la recherche.

2.1 Changement conceptuel

Puisque l'on veut découvrir les stratégies qui favorisent la compréhension et l'apprentissage des phases de la Lune par des élèves du primaire, il faudrait savoir comment ils apprennent. Nous nous intéresserons donc à la construction et à l'évolution des savoirs chez les enfants lors de l'apprentissage des sciences. En second lieu, nous présenterons l'approche constructiviste dans le cadre de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences. Finalement, nous exposerons le modèle expliquant les changements conceptuels qui nous semble le plus adéquat et le plus facilement opérationnalisable dans le contexte d'une séance allocentrique à propos des phases de la Lune dans un planétarium numérique.

2.1.1 Comment les enfants apprennent-ils les sciences ?

L'enfant est au cœur de ses propres apprentissages et il en est l'acteur principal. Il choisit d'accepter ou de refuser un concept, une hypothèse ou une théorie en fonction de ses connaissances antérieures, ses présupposés ontologiques et épistémiques, ses valeurs, etc. (Palmer, 2007; Vosniadou, 1991). Personne ne se fait imposer une idée, apprendre est un processus de construction hautement personnel. Or, les enfants choisissent d'accepter un concept en se basant généralement sur leurs propres idées et leurs propres observations, très souvent incomplètes, tronquées, non systématiques, et

leur capacité limitée à raisonner logiquement et rationnellement, surtout les plus jeunes (Chastenay, 2013). À l'âge de 10-12 ans, ce dernier aspect est souvent beaucoup mieux maîtrisé, mais les élèves ont peu de connaissances et peu d'expérience pour les éclairer (Vosniadou, 1991). Toutefois, cela ne veut pas dire qu'ils n'ont pas de connaissance ni d'expérience. De façon consciente et inconsciente, les enfants observent des phénomènes scientifiques dans leur environnement et, afin de se les expliquer, construisent des théories primaires personnelles à leur sujet (Vosniadou et Brewer, 1992). Étant donné que ces théories sont basées sur des observations incomplètes, tronquées et non systématiques, elles apparaissent naïves aux yeux d'un expert et sans véritable fondement scientifique, bien qu'elles aient énormément de sens pour l'enfant (Küçüközer *et al.*, 2009). Rappelons que ces théories primaires personnelles sont aussi appelées conceptions alternatives.

Les conceptions alternatives des élèves sont des obstacles à l'apprentissage (Küçüközer *et al.*, 2009; Palmer, 2007). Cela se fait particulièrement sentir lorsque les apprenants se trouvent face à des concepts plus abstraits comme l'électricité, les phases de la Lune, les saisons, etc. (Vosniadou, 1994). Il faut donc que les concepteurs de l'enseignement prennent en compte ces conceptions alternatives, afin de provoquer une véritable évolution conceptuelle chez l'apprenant. Cette vision de l'enseignement des sciences basée sur la prise en compte et l'évolution des conceptions des élèves est qualifiée de constructiviste. Elle va à l'encontre d'une vision plus « traditionnelle » qui favoriserait une simple transmission du savoir et une correction (ou même une répression) rapide des conceptions alternatives des élèves.

2.1.2 Vers une approche constructiviste

Le constructivisme part du principe que l'apprentissage se fait à un rythme différent et de différentes façons d'un individu à l'autre. Chaque individu construit de nouveaux concepts en modifiant ses conceptions initiales suite à de nouvelles expériences

personnelles, de nouvelles informations ou de nouvelles idées (Kavanagh *et al.*, 2005; Küçüközer *et al.*, 2009; Palmer, 2007). Le constructivisme ne vise donc pas uniquement l'acquisition de connaissances, mais aussi la construction de sens (Chastenay, 2013). Il encourage l'interaction entre les élèves (socioconstructivisme) et leur participation à des expériences et des observations significatives. Ainsi, cela fait ressortir chez l'élève les conceptions alternatives qu'il aurait pu avoir et permet la construction de concepts nouveaux et plus solides. (Kavanagh *et al.*, 2005)

Dans le cas des phases de la Lune, l'approche constructiviste est particulièrement intéressante puisqu'il s'agit d'un concept astronomique très abstrait qui est à l'origine, chez les jeunes, de nombreuses conceptions alternatives (Kavanagh *et al.*, 2005; Vosniadou, 1994). Les plus fréquentes sont que l'ombre de la Terre projetée sur la Lune est à l'origine des phases de la Lune, ou que les phases sont causées par des nuages ou d'autres objets passant devant la Lune (Chastenay, 2013; Küçüközer *et al.*, 2009). Si elles ne sont pas explicitement et résolument remises en question, ces conceptions persistent très souvent jusqu'à l'âge adulte où elles sont alors beaucoup plus difficiles à faire évoluer. Toutefois, même lorsque l'apprenant est jeune, ces conceptions ne se modifient pas facilement et font souvent obstacle à l'enseignement. La difficulté réside dans le fait que, pour pleinement comprendre les phases de la Lune, il faut être capable de s'imaginer la structure et les mouvements du système Soleil-Terre-Lune, un système dynamique qui se déploie dans un espace tridimensionnel (Chastenay, 2015; Cole *et al.*, 2015; Kavanagh *et al.*, 2005; Vosniadou, 1994). Une approche directe ou traditionnelle, basée par exemple sur l'utilisation de manuels scolaires où l'on présente des illustrations comme celle de la figure 2.1, ne provoque généralement pas de véritable changement conceptuel chez l'élève (Küçüközer *et al.*, 2009). Ce genre d'illustration est d'ailleurs à l'origine de nombreuses conceptions chez les élèves, comme celle selon laquelle il existe plusieurs lunes autour de la Terre que la rotation de notre planète nous révèle à tour de rôle (Chastenay, 2013). Il est aussi possible que

des conceptions alternatives soient renforcées par de telles illustrations (Küçüközer *et al.*, 2009).



Figure 2.1 Schéma des phases de la Lune typique des manuels scolaires utilisés au primaire (Bergeron, 2013)

Le modèle constructiviste semble mieux outillé pour faire évoluer les conceptions alternatives des élèves (Kavanagh *et al.*, 2005; Lelliott et Rollnick, 2010; Mills *et al.*, 2016). Dans leur recherche portant sur l'éducation en astronomie de 1974 à 2008, Lelliott et Rollnick (2010) ont recensé et analysé 103 articles sur le sujet. L'une de leurs conclusions est que l'on devrait mettre de côté les manuels et livres de référence exposant de tels diagrammes (comme celui de la figure 2.1), au profit d'une approche constructiviste, qui leur apparaît plus efficace. Cette approche utilise des activités telles

que l'observation active d'un cycle lunaire ou la représentation en 3-D d'un modèle du système Soleil-Terre-Lune et de leurs mouvements relatifs l'un par rapport à l'autre.

Barnett et Morran (2002) quant à eux, ont conduit une étude auprès d'élèves du primaire sur les conceptions alternatives en astronomie. Ils ont utilisé une approche qui consistait à aider les élèves à identifier leur propre compréhension des phases de la Lune et des éclipses et à réfléchir sur la façon dont leur compréhension évolue avec le temps. Pour y parvenir, les chercheurs ont divisé les différents aspects du phénomène en projets. Au début de chaque projet, les élèves étaient encouragés à écrire leur hypothèse sur les phases de la Lune et sur les éclipses dans un carnet. Puis, les chercheurs demandaient à toute la classe de faire un remue-méninge commun afin de développer une liste de faits et de croyances sur le système Soleil-Terre-Lune. S'en suivait une recherche en groupe de 3-4 où les élèves utilisaient différentes approches (modélisations 3-D, lectures, observations, etc.) pour comprendre le phénomène. Les projets se terminaient en mettant en commun les théories de chaque équipe et en faisant un retour et une réflexion sur les hypothèses de départ et leurs possible évolution. En utilisant des entrevues pré- et post-intervention, en examinant le travail des élèves et en leur demandant de remplir un sondage sur les concepts astronomiques avant et après le programme, ils ont démontré que les élèves peuvent développer une connaissance approfondie du phénomène des phases de la Lune et des éclipses. Ils concluent :

« These findings point out the need that instruction respect students' pre-existing ideas and supports their reflection and discussion of their ideas. »
(Barnett et Morran, 2002, p. 1)

En prenant en compte les conceptions alternatives des élèves, il est alors possible de les amener à effectuer un changement conceptuel et de réussir des enseignements significatifs. Enfin, Brazell et Espinoza (2009) et Mikropoulos et Natsis (2011)

suggèrent de fonder une séance dans un planétarium sur les principes du constructivisme pour assurer une meilleure compréhension du phénomène présenté.

2.1.3 Le modèle de Posner *et al.*

Plusieurs modèles de l'enseignement et de l'apprentissage qui se basent sur l'approche constructiviste ont été développés au cours des années. On peut évoquer le savoir en pièces (*knowledge in pieces*) de DiSessa (1988), les modèles mentaux de Vosniadou (1994) ou la théorie de la *resubsumption* de Ohlsson (2009). Dans le cadre de ce travail, c'est le modèle de Posner, Strike, Hewson & Gertzog (Posner *et al.*, 1982) sur le changement conceptuel qui a été retenu. Ce modèle a été approfondi et étendu dans un article publié par Strike et Posner en 1992 (Strike et Posner, 1992). Selon une vaste recension des écrits concernant les différents modèles du changement conceptuel menée récemment par Patrice Potvin et ses collaborateurs (Potvin *et al.*, 2020), il s'agit également du modèle qui a reçu depuis sa publication le plus d'appui de la part de la communauté des chercheurs. Cette sous-section présentera leur modèle des changements conceptuels. Elle se conclura sur les raisons de ce choix et l'application de cette approche à l'enseignement des phases de la Lune dans le contexte du planétarium.

Posner *et al.* (1982) s'inspirent des travaux de Piaget et du constructivisme. En ce sens, ils considèrent que l'apprentissage est « *the result of the interaction between what the student is taught and his current ideas or concept.* » (Posner *et al.*, 1982, p. 211). Il y a donc tout un travail cognitif qui s'effectue entre les nouvelles idées et les nouveaux concepts et ceux développés par l'apprenant. Les auteurs ont donc cherché à comprendre comment un individu passait d'une conception à une autre. Dans leur travail de 1992, Strike et Posner expliquent que le terme conception renvoie à l'idée d'une théorie complexe dans l'esprit de l'individu, ce que l'on pourrait aussi désigner par le terme paradigme, selon l'épistémologie kuhnienne. Ainsi, un changement ou une

évolution conceptuelle, où l'apprenant passerait d'une conception à une autre, s'apparenterait à passer de la vision newtonienne de la gravité à la version relativiste d'Einstein (Strike et Posner, 1992).

Pour Posner *et al.* (1982) les individus ont des *conceptions centrales*⁴ de pensée. Celles-ci sont propres à chaque domaine et définissent les problèmes, les stratégies pour y faire face et spécifient les critères des solutions (Posner *et al.*, 1982). Se basant sur ces conceptions centrales, les chercheurs ont identifié deux niveaux sur lesquels peut s'opérer un changement conceptuel. Le premier est appelé *assimilation* et il se produit lorsqu'une nouvelle information reçue est traitée en fonction du paradigme de pensée de l'individu. Le second niveau de changement conceptuel est l'*accommodation*. Cela survient lorsque l'information reçue est en contradiction directe avec le paradigme de pensée de l'individu et le force à repenser, réorganiser ou même à remplacer son paradigme.

Posner *et al.* (1982) ont établi quatre conditions permettant un changement conceptuel du paradigme de pensée.

1. Il doit y avoir une *insatisfaction* avec la conception centrale existante. L'individu ne changera pas de conception centrale tant que celle-ci ne sera pas en contradiction totale avec plusieurs observations et expérimentations qu'il aura faites. Même si certaines observations viennent contredire légèrement son paradigme de pensée, il est plus probable que l'individu ne change pas radicalement son paradigme, mais n'effectue que des changements mineurs.
2. Une nouvelle conception doit être *intelligible*. L'individu doit être en mesure de la comprendre et de la mettre en relation avec sa théorie personnelle.

⁴ Central commitments en anglais. Dans ce travail, le terme de conception centrale et paradigme de pensées seront considérés comme synonymes.

L'accommodation s'avère difficile lorsque la nouvelle théorie présentée est contrintuitive ou incompréhensible. L'individu qui ne comprend pas la nouvelle théorie ne trouvera pas de raison d'éliminer sa théorie désuète.

3. Une nouvelle conception doit être *plausible*. La conception n'a pas besoin d'être vraie aux yeux de l'apprenant, mais elle doit sembler possible. L'individu doit trouver dans cette conception certains éléments qui pourraient résoudre des problèmes qu'il a avec sa propre théorie.
4. Une nouvelle conception doit être *fertile*. L'apprenant doit sentir qu'en adoptant cette nouvelle vision du monde, il va répondre aux lacunes de ses conceptions centrales, mais qu'il aura aussi la possibilité d'explorer le monde avec une vision totalement différente et de faire de nouvelles découvertes.

Ces quatre critères doivent être remplis pour que l'apprenant opère un véritable changement conceptuel. Cette vision des choses présentée par Posner *et al.* (1982) implique que ces changements se produisent dans un certain contexte conceptuel (Strike et Posner, 1992). Cet environnement est décrit comme une *écologie conceptuelle* par les auteurs (Posner *et al.*, 1982).

Prenons maintenant un peu de temps pour approfondir ces quatre conditions. L'insatisfaction survient lorsque l'apprenant remarque que ses conceptions n'expliquent pas ce qu'il expérimente ou observe. Cette anomalie n'est donc pas assimilable dans le système de pensée de l'apprenant. L'anomalie prépare lentement l'écologie conceptuelle de l'apprenant pour une accommodation (Posner *et al.*, 1982). Plus l'anomalie est importante pour l'apprenant, plus il se voit insatisfait de ses conceptions et plus il est prêt à effectuer une accommodation (Posner *et al.*, 1982). Mais ce n'est pas parce qu'un individu rencontre une anomalie qu'il effectue un changement conceptuel sur-le-champ. Au contraire, un tel changement étant difficile à effectuer, il aura plutôt tendance à rejeter son observation, ne pas en tenir compte parce qu'elle ne semble pas pertinente, l'isoler pour qu'elle ne vienne pas en conflit avec sa conception centrale ou même essayer de la déformer pour qu'elle entre dans le cadre de sa conception centrale (Posner *et al.*, 1982). Pour que l'anomalie soit significative

pour l'apprenant, les auteurs suggèrent que ce dernier comprenne *pourquoi* c'est une anomalie. Il doit aussi croire qu'il est nécessaire de réunir ce qu'il a découvert avec ses propres conceptions sans qu'il subsiste d'inconsistance. Enfin, l'apprenant doit aussi découvrir qu'il est futile d'essayer de connecter sa découverte avec ses propres conceptions, que ses tentatives d'assimilation sont vouées à l'échec (Posner *et al.*, 1982). En somme, il faut aider l'apprenant à reconnaître une anomalie et à la traiter convenablement, l'aider à développer une épistémologie scientifique (Chastenay, 2013).

L'intelligibilité est tout aussi importante. Elle peut dépendre grandement de l'âge des individus, puisqu'ici on parle de comprendre tous les mots et les symboles de l'élément présenté. Ainsi, on ne présente pas de la même façon les phases de la Lune à des élèves du primaire ou du secondaire, ou à des étudiants du collégial. On ne doit pas s'attarder qu'au langage, cependant, il faut aussi que l'apprenant soit capable de s'imaginer le concept, de se le représenter mentalement, pour qu'il sente que ce concept est intelligible.

La plausibilité est le niveau de possibilité que la nouvelle conception s'insère dans l'écologie conceptuelle de l'individu. Les chercheurs identifient cinq façons d'y parvenir : le nouveau concept est cohérent avec les croyances de l'individu; cohérent avec d'autres théories et connaissances; cohérent avec des expériences passées; les images qu'il crée sont cohérentes avec la vision du monde de l'apprenant et il permet de répondre à des problèmes dont l'apprenant est conscient (Posner *et al.*, 1982).

Enfin, la fertilité permet d'expliquer de nouveaux phénomènes en plus d'expliquer certains que l'apprenant connaissait déjà. Dans le cas des phases de la Lune par exemple, le mécanisme à l'origine du phénomène explique aussi les phases de Mercure et Vénus vues depuis la Terre, les phases de la Terre vues de la Lune, et les éclipses.

Il est maintenant légitime de se poser la question suivante : pourquoi favoriser le modèle des changements conceptuels de Posner, Strike, Hewson & Gertzog par rapport à d'autres modèles de changement conceptuel évoqués plus haut ?

Le modèle développé par Posner et al. propose de présenter au participant une situation qui vient créer une insatisfaction, avant de leur présenter une solution qui permet d'expliquer la nouvelle situation et qui permettra d'en expliquer davantage. Ce modèle peut être facilement opérationnalisé dans le contexte d'une séance didactique sur les phases de la Lune dans un planétarium numérique. Les phases de la Lune sont l'objet de plusieurs conceptions alternatives qui ne réussissent pas à expliquer l'ensemble du phénomène (Chastenay, 2013). Il sera donc facile de créer chez les participants une insatisfaction en leur présentant des informations qui sont en désaccord avec leurs conceptions alternatives. De plus, les phases ne sont pas limitées à la Lune et la nouvelle conception pourra expliquer les phases de Mercure, de Vénus, de la Terre (vue de la Lune), et aussi d'expliquer les éclipses. Enfin, le modèle de Posner et al. nous offre une méthode claire et par étape pour parvenir à susciter des changements conceptuels. Il existe une prescription précise découlant du modèle de Posner et al. concernant la façon dont l'on doit s'y prendre pour créer un changement conceptuel chez un individu. Or, ce ne sont pas tous les modèles qui offrent ce genre de prescription.

Le savoir en pièce de DiSessa (1988) et les modèles mentaux de Vosniadou (1994), bien qu'il s'agisse de modèles intéressants du point de vue de l'évolution conceptuelle, ne nous donnent pas de cadre clair et précis pour les opérationnaliser. Ils décrivent comment l'individu apprend, sans toutefois donner de marche à suivre précise pour arriver à un tel changement conceptuel chez cet individu. Le modèle de Ohlsson (2009) propose, comme Posner et al., une forme d'opérationnalisation. Dans le cas d'Ohlsson, on présenterait la théorie à l'apprenant dans un contexte exotique avant de la présenter

de nouveaux dans un contexte familial. Par exemple, présenter les phases de la Lune en utilisant le système des lunes de Jupiter avant de retourner sur la Terre et d'appliquer ce qu'on vient de découvrir à notre propre système. Cette approche est intéressante et pourrait faire l'objet d'une adaptation dans le contexte d'une séance de planétarium. Par contre, puisqu'il s'agit d'un modèle relativement nouveau et qui a peu été testé jusqu'à présent dans des contextes éducatifs, nous avons décidé de favoriser le modèle de Posner et al., puisqu'il existe une plus grande quantité d'études qui ont utilisé ce modèle dans des études concrètes, tel que le travail de Chastenay (2013), et dont nous pourrions nous inspirer.

2.2 Des conceptions alternatives

L'un des aspects fondamentaux de l'approche constructiviste est de s'intéresser à ce que l'apprenant connaît et sait déjà, avant même toute tentative formelle d'enseignement. Cet aspect est crucial dans le modèle de Posner *et al.* puisque ce dernier propose de créer une insatisfaction afin de pouvoir effectuer un véritable changement conceptuel. Pour ces raisons, nous avons regroupé les principales conceptions que les élèves du primaire (6-12 ans) ont à propos du système Terre-Soleil-Lune. Rappelons que les interactions dynamiques entre les éléments de ce système sont la clé pour comprendre les phases de la Lune (Barnett et Morran, 2002; Chastenay, 2015; Cole *et al.*, 2015; Vosniadou, 1991). Chastenay (2013), dans sa thèse de 2013, a fait un recensement exhaustif de ces conceptions et nous allons largement utiliser cette contribution. Il sera aussi question du mécanisme d'élaboration de ces conceptions alternatives. Afin de ne pas alourdir le texte, nous n'allons présenter que les conceptions les plus fréquentes.

La Terre est au centre

L'une des premières conceptions alternatives qui apparaît est l'idée que la Terre est au centre de l'Univers et que les objets astronomiques, tels que la Lune, le Soleil et la voûte céleste, tournent autour de notre planète (Liu, 2005). Cette conception provient principalement du point de vue géocentrique que nous offre notre position sur la Terre (Vosniadou et Brewer, 1992). Le ciel et les objets semblent être en mouvement autour de nous et il nous est impossible de sentir le mouvement de la Terre sur elle-même (rotation) et autour du Soleil (révolution).

La Lune est proche

La majorité des élèves du primaire sont convaincus que la Lune est beaucoup plus proche de la Terre qu'elle ne l'est en réalité (Comins, 1999). Ces conceptions alternatives émergent essentiellement et sont renforcées par des représentations inadéquates que l'on trouve dans les différents médias. Les médias littéraires comme les manuels scolaires présentent souvent des schémas du système solaire et du système Terre-Lune qui ne sont pas à l'échelle (Küçüközer *et al.*, 2009). La figure 2.1 à la section précédente ainsi que la figure 2.2 ci-dessous montrent des représentations qui ne sont pas à l'échelle et qui suggèrent de petites distances entre les objets.



Figure 2.2 Schéma du système solaire que l'on retrouve typiquement dans un manuel scolaire au primaire (Bergeron, 2013)

La Lune et de la Terre sont des disques

Une conception répandue chez les enfants est que la Terre et la Lune ne sont pas des sphères. Beaucoup d'enfants croient que la Terre et la Lune sont des disques bidimensionnels (Vosniadou et Brewer, 1992). Encore une fois, ces conceptions sont principalement dues à notre point de vue géocentrique (Vosniadou et Brewer, 1992) et à certaines représentations de la Lune et de la Terre dans des livres qui ne montrent pas ces deux astres comme des sphères (Küçüközer *et al.*, 2009).

La Lune produit sa propre lumière

La Lune ne produit pas sa propre lumière, elle réfléchit la lumière du Soleil. Or, ce ne sont pas tous les enfants qui ont cette vision du monde. Une conception alternative répandue est que la Lune, à l'instar du Soleil, produit sa propre lumière (Comins, 1999; Vosniadou et Brewer, 1994).

La Lune est statique

La révolution de la Lune autour de la Terre n'est pas un concept compris de tous au primaire. Certains croient que la Lune est fixe dans l'espace et ne bouge pas (Liu, 2005) tandis que d'autres estiment que, comme la Terre, la Lune tourne autour du Soleil (Bell

et Trundle, 2008; Liu, 2005). Encore une fois, l'absence d'observation systématique de la Lune et des représentations livresque inadéquate sont les principales sources de ces conceptions (Chastenay, 2013; Küçüközer *et al.*, 2009).

Les phases de la Lune

Toutes les conceptions alternatives présentées jusqu'à présent contribuent à une représentation et une conception des phases de la Lune qui n'est pas en accord avec les théories scientifiques admises. Les enfants vont utiliser ces conceptions alternatives pour élaborer une théorie personnelle des phases de la Lune (Kavanagh *et al.*, 2005; Küçüközer *et al.*, 2009; Palmer, 2007). Parmi les plus courantes chez les enfants du primaire (6-12 ans), nous retrouvons :

- Les phases de la Lune sont causées par des nuages ou par un astre qui passe devant la Lune (Bell et Trundle, 2008; Küçüközer, 2008; Küçüközer *et al.*, 2009; Liu, 2005)
- Les phases de la Lune sont causées par l'ombre de la Terre projetée sur notre satellite (Bell et Trundle, 2008; Küçüközer, 2008; Küçüközer *et al.*, 2009; Liu, 2005)
- Plusieurs phases de la Lune coexistent autour de la Terre et la rotation de notre planète nous les fait voir l'une après l'autre (Küçüközer *et al.*, 2009)

La première de ces conceptions provient principalement d'une observation non systématique du phénomène et de l'expérience personnelle de voir des nuages masquer des objets dans le ciel (le Soleil, les étoiles, la Lune, etc.). L'observation d'un cycle complet de phases (28 jours) révélerait à l'observateur que de tels phénomènes atmosphériques ne peuvent pas à eux seuls expliquer le phénomène. Aussi, observer que la Lune montre des phases, même en l'absence de nuage, montrerait les limites de cette conception.

La conception que l'ombre de la Terre provoque les phases de la Lune découle une fois de plus d'une observation non systématique du phénomène, mais aussi d'une sous-

évaluation de la distance Terre-Lune. Une observation méticuleuse du cycle en remarquant la distance apparente de la Lune par rapport au Soleil dans le ciel et une représentation à l'échelle du système Terre-Lune montrerait les failles de cette conception. On constate également que la présentation, dans une même leçon, du mécanisme des phases et celui des éclipses peut être à l'origine d'une confusion chez les élèves qui mène souvent à cette conception (Chastenay, 2017).

L'idée qu'il y a plusieurs lunes autour de la Terre et que, suivant la rotation de notre planète, nous voyons différentes lunes et donc différentes phases découle de représentations médiatiques inadéquates (Küçüközer *et al.*, 2009). Un exemple de ces représentations inadéquates est la figure 2.1.

Pour bien comprendre le phénomène des phases de la Lune, il faut être capable de comprendre la place de la Terre par rapport à la Lune et au Soleil ainsi que les mouvements de ces astres. Comprendre que la Lune, comme la Terre et le Soleil, est un objet solide et sphérique. Savoir que la lumière de la Lune est en réalité celle du Soleil réfléctée sur la surface lunaire et que notre satellite naturel se trouve à un peu moins de 400 000 km de notre planète.

En somme, une séance de planétarium numérique à propos des phases de la Lune devrait tenir compte de ces conceptions alternatives afin de pouvoir amorcer adéquatement un changement conceptuel auprès de ses spectateurs.

2.3 Les habiletés spatiales

En troisième et dernière section de ce chapitre, il sera question des habiletés spatiales. Les habiletés spatiales sont un type d'habileté mentale utilisé par un individu afin de

traiter mentalement des objets en deux et trois dimensions (Palmer, 2007). Ces habiletés sont nécessaires à la maîtrise de concepts astronomiques tel que les phases de la Lune et il a été démontré à de nombreuses reprises qu'une séance au sein d'un planétarium traditionnel favorisait le développement de telles habiletés chez les spectateurs (Black, 2005; Heyer *et al.*, 2012; Kikas, 2006; Palmer, 2007; Plummer, 2014). Bien que plusieurs habiletés spatiales existent, Black (2005) en retient trois qui sont plus pertinentes dans l'apprentissage en astronomie : perception spatiale, visualisation spatiale et rotation mentale.

La perception spatiale est l'aptitude à déterminer des informations d'un objet (2-D ou 3-D) par rapport à l'orientation de son corps. La visualisation spatiale est l'habileté d'effectuer des manipulations multiples d'un objet 2-D ou 3-D sans lui toucher. Enfin, la rotation mentale est la capacité de faire tourner une figure 2-D ou 3-D avec rapidité et facilité sans la toucher. Dans son étude de 2005, Black s'est intéressée à la relation entre les différentes habiletés spatiales énumérées ci-dessus et la performance à un test ESC (Earth Science Conceptual Understanding). Ses sujets de recherche étaient des étudiants de collège américain qui n'étudiaient pas en science. 97 personnes, 34 hommes et 63 femmes, âgés de 18 à 49 ans, ont ainsi participé à l'étude. Ils ont passé des tests afin de mesurer leurs différentes habiletés spatiales et un test ESC. Dans sa conclusion, Black indique, à propos des habiletés spatiales :

« [...] mental rotation, is the variable studied that best predicted ESC performance. This result is consistent with the aspects of movement involved in many Earth science concepts on the ESC, and the necessity to visualize the position of objects from varying vantage points. » (Black, 2005, p. 410)

Palmer (2007) a aussi établi un lien entre les habiletés spatiales et l'astronomie. Son étude de 2007 a porté sur l'apprentissage des phases de la Lune dans un planétarium par des élèves du primaire. Les élèves passaient un prétest et un post-test pour déterminer l'impact éducatif d'une séance portant sur les phases de la Lune dans un

planétarium traditionnel. Sa conclusion, en faveur de l'utilisation des planétariums, a aussi porté sur l'amélioration des habiletés spatiales chez certains participants :

« This research indicates that by providing visual representations of the three-dimensional relationship between the earth, moon, and sun, to students who have low spatial reasoning skills, a planetarium gives them a powerful new experience that creates the cognitive dissonance needed to simulate the construction of new knowledge. » (Palmer, 2007, p. 58)

De leur côté Plummer *et al.* (2016) ont noté que le changement de perspective, la capacité de s'imaginer et de visualiser une scène de différents points de vue, est l'habileté spatiale la plus importante pour la compréhension des phénomènes astronomiques.

« Making sense of why the Sun appears to move across the sky relies on visualizing and connecting the view of the Sun from the Earth and the view of the Earth and Sun from a space-based perspective, leading to the hypothesis studied here that individual differences in perspective-taking skills would predict differences in the sophistication and accuracy of astronomical explanations. » (Plummer *et al.*, 2016, p. 348)

L'étude s'est déroulée au cours d'un camp d'astronomie d'une semaine dans un planétarium où des enfants (7-9 ans) exploraient le cycle du jour et de la nuit et les saisons. Plummer *et al.* ont demandé aux participants d'expliquer, à l'aide de modèles mis à leur disposition, le mouvement apparent du Soleil, des étoiles et le phénomène des saisons. Par la suite, ils leur faisaient faire un test de changement de perspective où les participants devaient choisir la façon dont deux cercles de couleurs étaient disposés selon le point de vue d'une figurine.

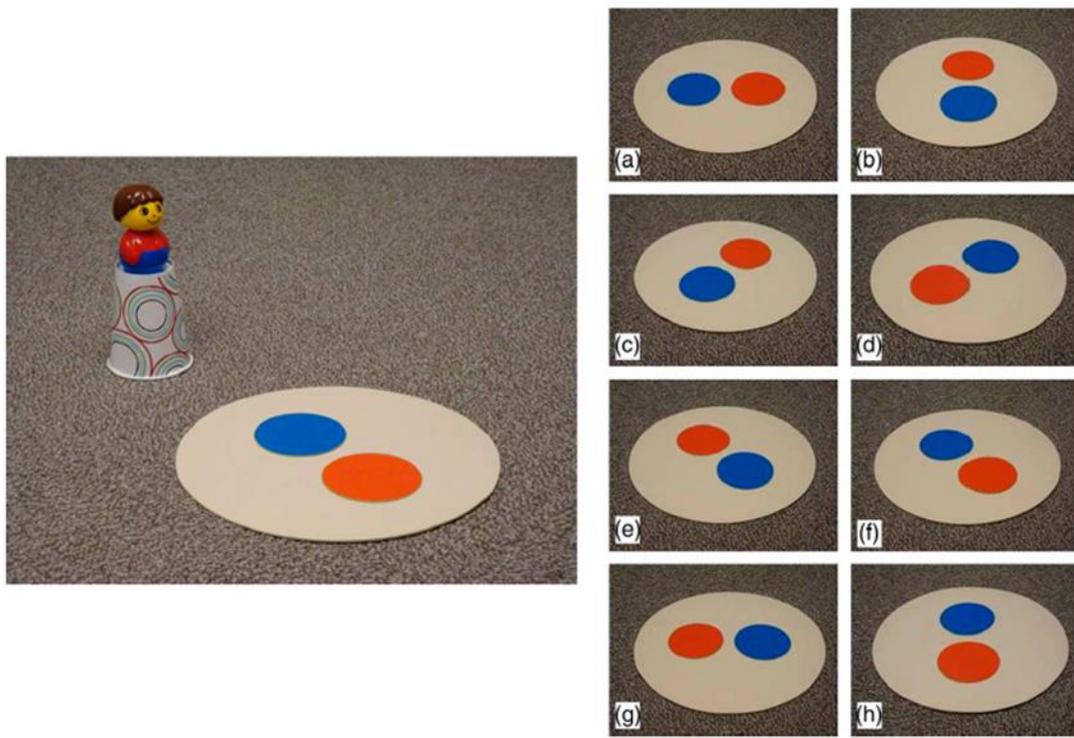


Figure 2.3 Test de changement de perspective (Plummer *et al.*, 2016)

Ces tests ont été faits avant et après le camp d'astronomie pour pouvoir analyser l'évolution des connaissances et l'influence qu'a le changement de perspective sur l'apprentissage en astronomie. Ils concluent que :

« [...] *perspective-taking skill is useful in students' spatial thinking in astronomy. Thus, we recommend that science educators foster this type of reasoning and provide children who have low perspective-taking skills with additional spatial aids, such as simulations showing the Earth-based perspective and physical models to support explanations.* » (Plummer *et al.*, 2016, p. 362)

En somme, les habiletés spatiales, plus particulièrement le changement de perspective, sont très importantes dans l'apprentissage et la compréhension des phases de la Lune puisqu'il faut être capable de se représenter mentalement un modèle 3-D de la Terre,

de la Lune et du Soleil ainsi que leurs mouvements et interactions (Palmer, 2007). Ce ne sont pas tous les élèves qui ont le même niveau d'habiletés spatiales et ainsi, la même facilité à comprendre les phases de la Lune (Black, 2005; Palmer, 2007). Toutefois, une visite au planétarium aide ceux qui ont le plus bas niveau d'habiletés spatiales à les développer (Black, 2005; Palmer, 2007; Plummer *et al.*, 2016). Le Planétarium peut en effet les aider à créer les représentations mentales (modèle mental) à propos du système Soleil-Terre-Lune qu'ils pourront manipuler par la suite pour comprendre le mécanisme des phases lunaires. Ces habiletés seront utiles à la compréhension des phases de la Lune, mais aussi à l'apprentissage d'autres phénomènes astronomiques par la suite (Black, 2005; Heyer *et al.*, 2012; Kikas, 2006; Palmer, 2007; Plummer, 2014; Plummer *et al.*, 2016).

Le planétarium numérique, avec ses capacités décuplées de transporter le spectateur dans l'espace tridimensionnel, permet d'offrir à ce dernier plusieurs points de vue différents sur le même phénomène et de passer d'un point de vue géocentrique à un point de vue allocentrique en quelques secondes. En outre, il est possible de faire tourner ainsi que de tourner autour d'un objet tridimensionnel tel que des planètes, lunes et astéroïdes. Ainsi, au lieu de solliciter les habiletés spatiales, parfois manquantes, du spectateur, le planétarium numérique est en mesure de lui fournir ces outils nécessaires à la compréhension des phénomènes astronomiques tels que le cycle diurne, les saisons et les phases de la Lune.

2.4 Conclusion et objectifs spécifiques de recherche

Voici la fin de ce chapitre destiné à la présentation des différents concepts et théories sur laquelle reposera la conception de la séance allocentrique sur les phases de la Lune dans un planétarium numérique auprès d'élèves du primaire.

Dans le but de favoriser l'apprentissage du concept des phases de la Lune, nous avons exploré divers modèles du changement conceptuel et nous avons conclu que le modèle de Posner *et al.* (1982) est le plus approprié pour notre séance. L'étude de ce modèle nous a montré qu'afin de provoquer un réel changement conceptuel chez les élèves, nous devons suivre quatre étapes : insatisfaction, intelligibilité, plausibilité et fertilité.

Lors de la séance au planétarium, le sentiment d'insatisfaction sera créé à l'aide de questions à choix de réponse à l'intention des participants, projetées sur le dôme. Les élèves se verront demander d'anticiper une phase de la Lune et de voter pour celle qui leur semble la plus plausible. Suite au vote, la réponse sera dévoilée suivie d'une explication et d'une démonstration. Ces explications se feront en utilisant différentes facettes du planétarium telles que le passage accéléré du temps et le point de vue allocentrique, ce qui devrait contribuer à l'intelligibilité et la plausibilité. Finalement, pour amener le sentiment que cette nouvelle théorie permet d'expliquer d'autres phénomènes et amène une abondance de possibilité, nous utiliserons le planétarium comme un vaisseau spatial pour voir le phénomène des éclipses (solaire et lunaire), aller autour de Jupiter et constater que ses lunes montrent aussi des phases, puis observer les phases des planètes Mercure et Vénus. En somme, nous démontrerons que cette nouvelle explication permet de rendre compte de beaucoup de phénomènes, au-delà des simples phases de la Lune.

Nous allons aussi nous attarder aux conceptions alternatives les plus populaires chez les élèves. Durant la séance, nous avancerons le temps d'une journée en quelques

secondes afin de constater rapidement que la Lune a légèrement changé de phase et qu'elle ne se trouve pas à la même position dans le ciel. En utilisant le planétarium comme vaisseau spatial, nous irons faire le tour de la Terre et de la Lune pour constater que ce sont deux objets sphériques qui sont d'un côté éclairé par le Soleil et de l'autre plongé dans l'ombre (la nuit). Il sera aussi possible « d'éteindre » le Soleil pour constater que c'est bel et bien notre étoile qui est la source de la lumière sur la Terre et la Lune. Pour comprendre l'effet de l'ombre terrestre sur la Lune, nous la représenterons comme un grand cône se prolongeant dans l'espace et nous ferons passer la Lune à l'intérieur afin d'illustrer une éclipse lunaire. La même chose se fera pour l'éclipse du Soleil, en collant un cône d'ombre à la Lune. Toutes ces manœuvres se dérouleront dans l'espace. Ainsi les élèves ayant de la difficulté avec certaines habiletés spatiales ne seront pas en reste, puisqu'on leur fournira des outils conceptuels et hautement visuels pour construire leur propre représentation mentale du système Soleil-Terre-Lune.

Le changement de perspective favorisé par (Plummer *et al.*, 2016) fera partie intégrante de la séance et sera utilisé, par exemple, lors de l'exploration des phases de la Lune depuis l'espace. Alors que le vaisseau sera positionné de telle sorte que les spectateurs auront dans leur champ de vision la Lune et le pôle Nord de la planète Terre, l'animateur de la séance demandera de deviner la phase de la Lune vue depuis la Terre. Dans cette position, les élèves verront une Lune qui, peu importe sa position autour de la Terre, semblera être un disque toujours à moitié éclairé. Sachant que la Lune, depuis la Terre, ne conserve pas toujours la même forme apparente, les participants devront faire appel à leur habileté de changement de perspective pour imaginer ce qui est visible depuis la Terre. Après le vote, le vaisseau se déplacera sur Terre afin que tous constatent la phase de la Lune. Ce processus sera répété plusieurs fois afin d'explorer différentes phases et de renforcer le changement de perspective.

En nous basant sur les informations et la conclusion de ce chapitre et dans le but de répondre à la question de recherche, nous avons identifié deux objectifs spécifiques :

- Réaliser une séance allocentrique dans un planétarium numérique à propos des phases de la Lune en se basant sur les théories existantes, soit le changement conceptuel de Posner *et al.*, les conceptions alternatives des participants et l'impact des habiletés spatiales sur l'apprentissage de l'astronomie, afin de faire émerger les éléments et composantes (scénario, bandes sonores, effets visuels, mise en scène, etc.) les plus importants de cette séance du point de vue des apprenants;
- Déterminer si une telle séance allocentrique favorise une meilleure compréhension du mécanisme des phases de la Lune par des élèves de la fin du primaire.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

« *The most exciting phrase to hear in science, the one that heralds new discoveries, is not 'Eureka!' but 'That's funny...'* »
Isaac Asimov (1920-1992)

Afin de répondre aux objectifs énoncés à la fin du chapitre précédent, en particulier celui de déterminer les éléments et composantes d'une séance didactique qui sont le plus importants pour les spectateurs, il faudra développer une séance dans un planétarium numérique qui puisse faire ressortir des éléments propres à l'environnement numérique. Ce développement devra se baser sur des théories existantes, soit le changement conceptuel de Posner *et al.*, les conceptions alternatives des participants et l'impact des habileté spatiales sur l'apprentissage de l'astronomie, mais aussi permettre une certaine flexibilité, une évolution. Cette évolution se traduira par des itérations de la séance. Suivant les commentaires des spectateurs à la fin de chaque itération, la séance devra être modifiée et améliorée afin de pouvoir recueillir de nouvelles données avec de nouveaux spectateurs. Ce type de méthodologie se rapproche énormément de la recherche de développement (Thouin, 2014; Van der Maren, 1996), connue en anglais sous les termes *Design-Based Research* (Design-Based Research Collective, 2003) ou *Design Experiments* (Cobb *et al.*, 2003; Shavelson *et al.*, 2003).

Ce chapitre commencera donc par une présentation en détail de la recherche de développement. S'en suivra le choix des sujets, les outils de collecte de données et la présentation du déroulement de la recherche. La dernière section sera dédiée à la présentation du protocole d'analyse de donnée.

3.1 La recherche de développement

3.1.1 Définition

Selon Van der Maren (1996), dans le cas où l'on s'intéresse à l'élaboration d'un objet (une intervention didactique, une séance dans un planétarium numérique, dans notre cas), la recherche de développement est un type de recherche appliquée utilisant diverses théories et visant la résolution de problèmes résultant de la pratique quotidienne. Cobb *et al.* (2003) utilisent la métaphore de l'écologie pour expliquer que la recherche de développement ne produit pas qu'une simple liste d'épicerie, mais plutôt des systèmes interactifs. Cela permet de produire des théories de conception qui peuvent être adaptées à de nouvelles circonstances. Chastenay (2013) résume la recherche de développement comme permettant :

« [...] d'étudier le processus d'enseignement et d'apprentissage, le plus souvent dans son contexte propre, tout en créant et en développant de manière systématique des interventions éducatives pratiques et efficaces et en améliorant les théories qui sous-tendent ces interventions. » (Chastenay, 2013, p. 156)

Shavelson *et al.* (2003) recensent 7 caractéristiques propres qui définissent la recherche de développement :

1. Itérative
2. Axée sur le processus
3. Interventionniste

4. Collaborative
5. À plusieurs niveaux
6. Orientée vers les outils
7. Axée sur les théories

Tout d'abord, la recherche de développement est *itérative* et s'inscrit dans le cycle conception-analyse-refonte pour construire, dans notre cas, une intervention didactique. À chaque itération, l'intervention est soumise à une évaluation lors d'une utilisation avec le public cible. À la suite de cette évaluation, les informations recueillies permettront de faire évoluer et d'améliorer l'intervention.

Elle est aussi *axée sur le processus* (*process focused*) dans le sens où elle s'intéresse à la fois à la manière dont l'individu (ou le groupe) apprend et comment l'intervention didactique permet cet apprentissage. Cet intérêt se traduit à la fois par une recherche théorique en amont afin de construire une première itération de l'objet et une analyse de l'évolution conceptuelle des participants à la suite de l'utilisation de l'intervention.

La recherche de développement est fortement *interventionniste* puisqu'elle met le chercheur directement au cœur du processus. Ce dernier modifie constamment l'intervention suivant les informations qu'il a recueillies lors des diverses présentations des itérations. Il est aussi présent lors de ces itérations et prend généralement part à la présentation de l'intervention. C'est le cas dans la présente recherche.

La *collaboration* est nécessaire dans ce type de recherche puisque les objets qui sont habituellement développés seront utilisés par des praticiens. Ces derniers peuvent aussi apporter un second regard sur certains éléments. Parfois, certains éléments externes, comme le programme scolaire ou la capacité limitée d'un certain environnement, forcent à modifier certains aspects de l'objet (Design-Based Research Collective, 2003).

Finalement, ce type de recherche permet le développement et l'amélioration non seulement d'objets, mais aussi de théories. Chaque élément recueilli au cours des nombreuses itérations enrichit la théorie sous-jacente sur laquelle s'est construit l'objet. La figure 3.1 propose un résumé schématisé du processus.

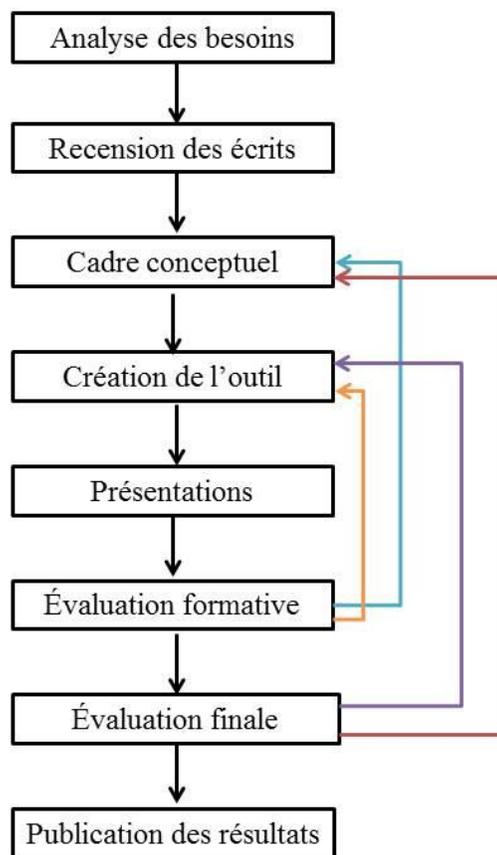


Figure 3.1 Processus résumé de la recherche de développement (d'après Chastenay (2013), Shavelson *et al.* (2003), *Design-Based Research Collective* (2003) et Cobb *et al.* (2003))

Ainsi, dans le cas de notre recherche, les trois premières étapes ont été présentées dans les chapitres précédents. C'est sur les concepts présentés dans le cadre théorique que la première itération de la séance didactique portant sur les phases de la Lune a été

développée. Le déroulement des étapes de présentation et d'évaluation sera présenté plus loin dans ce chapitre, tout comme le choix des sujets.

3.1.2 Avantages et inconvénients

La grande force de la recherche de développement est de faire le pont entre la théorie et la pratique (*Design-Based Research Collective*, 2003). À quoi sert une théorie si elle n'est pas appliquée ? Comment appliquer efficacement une théorie dans un milieu d'apprentissage ? La recherche de développement cherche à répondre à ces questions en appliquant des théories développées dans un domaine donné directement dans un contexte réel associé. Pour ce qui est des théories de l'enseignement et de l'apprentissage, ces contextes peuvent être la classe, le musée, le planétarium, etc. En outre, les itérations permettent de vérifier si l'application de ces théories s'est bien opérationnalisée, de connaître les forces et les lacunes de l'intervention et de pouvoir la modifier et l'améliorer. La recherche de développement n'est pas limitée à un seul type de donnée. Les données qualitatives et quantitatives sont utilisées et parfois même combinées afin de réaliser une triangulation des données qui légitime encore davantage les découvertes issues de la recherche.

L'inconvénient majeur de ce type de recherche est toutefois la grande place qu'y prend le chercheur, ainsi que son double objectif : il tente de rester objectif tout en essayant d'améliorer l'intervention sur lequel il travaille. Sa présence est donc hautement interventionniste. Ainsi, le choix des modifications et du nombre d'itérations peut soulever des questions légitimes et un observateur extérieur pourrait être en droit de se questionner sur la légitimité de pousser la démarche dans une direction ou une autre (*Design-Based Research Collective*, 2003). Il faut aussi garder à l'esprit que le chercheur se concentre généralement sur quelques paramètres seulement de l'expérience, alors que des centaines d'autres existent et pourraient intervenir. Or, ce type de recherche ne permet évidemment pas de contrôler toutes les variables (Design-

Based Research Collective, 2003). Malgré ces limitations, nous sommes d'avis que les avantages d'utiliser la recherche de développement dans le contexte de la création et de l'amélioration d'une séance allocentrique dans un planétarium numérique surpassent largement les inconvénients liés à cette approche méthodologique.

Dans l'optique de réduire ces inconvénients, il est prévu d'atteindre une saturation des données avant de faire une dernière itération. La saturation des données limitera le nombre d'itérations que nous réaliserons et devrait permettre une correction si les changements amenés aux nouvelles itérations ne sont pas utiles aux spectateurs. Ainsi, si le chercheur effectue des changements qui n'ont pas d'effet ou qui ont un effet négatif, cela se reflètera dans l'entrevue suivant la présentation de la séance. En d'autres termes, cela devrait aider à orienter l'évolution de l'intervention en laissant de côté les choix personnels du chercheur. Dans ce cas, la parole des participants devient d'autant plus importante et, afin de bien saisir les réponses des élèves lors des entrevues, le chercheur devra poser des questions similaires et des questions de relance.

3.2 Les sujets

Au tout début de ce travail, nous avons relevé des lacunes dans l'enseignement de l'astronomie dans les classes primaire du Québec. Nous avons aussi fait le choix des phases de la Lune comme objet pour développer notre intervention didactique en sachant pertinemment que ce concept se retrouvait dans les savoirs essentiels visés par le ministère au 3^e cycle du primaire. Conséquemment, les sujets de notre recherche proviendront de classes du 3^e cycle du primaire. À ce stade, les élèves devraient étudier les phases de la Lune (Ministère de l'Éducation, 2006, 2009) et l'on peut donc considérer qu'ils sont suffisamment outillés pour aborder ce sujet.

Puisque l'expérience se déroule en français, seulement des écoles francophones seront contactées. Les écoles à proximité du planétarium Rio Tinto Alcan de Montréal seront les premières à être sollicités, pour des raisons de coûts et de disponibilités (transport scolaire non nécessaire). Puisque la présentation sera gratuite, la petite distance qui sépare l'école du planétarium pourrait permettre aux enseignants de réaliser une sortie scolaire sans frais. Il s'agira donc d'échantillons de convenance.

L'échantillon sera composé d'une classe par itération. En se limitant à une classe, il nous est possible de développer une séance unidirectionnelle, c'est-à-dire, une séance dans laquelle tous les éléments intéressants sont toujours projetés sur la partie du dôme située en face de l'auditoire. L'alternative est une séance multidirectionnelle où des éléments se trouvent parfois en face et parfois derrière l'auditoire. Ce dernier type de séance est nécessaire lorsque le théâtre du planétarium est rempli à capacité et il fait en sorte que certains spectateurs risquent de rater certains éléments visuels cruciaux en cours de séance. Le fait de n'avoir qu'une classe par itération permet aussi un meilleur contrôle sur les diverses interventions lors de l'entrevue de groupe et d'approfondir les éléments soulevés lors de celle-ci.

3.3 Outils de collecte de données

Deux outils de collecte de données ont été utilisés au cours de cette recherche : un canevas d'entretien et un questionnaire à propos des phases de la Lune. L'utilisation de ces deux outils nous a permis de faire une triangulation des données et d'atteindre les objectifs spécifiques posés à la fin du chapitre 2. Le canevas d'entretien et le questionnaire sont en annexes A et B respectivement. Enfin, puisque nous avons mené à bien plusieurs itérations, le canevas d'entretien présenté est celui qui a été utilisé lors

de la première séance. Suivant les résultats obtenus, le canevas a subi des modifications en cours de recherche.

3.3.1 Canevas d'entretien

Avant de commencer à présenter le canevas d'entretien, il serait pertinent de réfléchir à son utilité dans le contexte de la recherche présenté plus tôt. En effet, le canevas d'entretien ainsi que ses forces et faiblesses dépendent grandement du type d'entrevue dans lequel il sera utilisé.

Le type d'entrevue employé sera l'entretien non-dirigé. En ce sens, le canevas d'entretien se limitera à des questions ouvertes favorisant l'échange libre de la part des participants (Fortin et Gagnon, 2010). Cette approche permet au chercheur de structurer son travail et son entrevue afin de ne pas omettre des points importants de sa recherche, sans toutefois tomber dans la rigidité d'un questionnaire. Selon Paillé (1991), l'élaboration d'un canevas d'entretien se fait en six étapes :

1. Le premier jet
2. Le regroupement thématique des interrogations
3. La structuration interne des thèmes
4. L'approfondissement des thèmes
5. L'ajout de spécifications
6. La finalisation du guide

La première étape fait office de remue-méninges⁵. Il est important de ne pas chercher une cohérence à tout prix ou une formulation précise des questions. Le chercheur doit plutôt se concentrer sur son objectif de recherche : qu'est-ce qu'il veut apprendre sur son sujet?

⁵ Brainstorm, en anglais

La deuxième étape consiste à regrouper les différentes questions de la première étape en catégories, thèmes et/ou idées.

L'étape suivante, la troisième, nécessite la structuration des thèmes. Selon Paillé (1991), cette structuration doit se baser sur trois critères :

1. Ordre logique (du général au particulier)
2. Du lieu commun au thème plus difficilement explicable
3. Par recoupement des interrogations

La quatrième étape sert de pause afin de regarder et de s'assurer que tous les éléments et les questions sont représentés par les thèmes développés plus tôt.

L'ajout de spécifications à la cinquième étape pose un regard plus approfondi sur chaque question. À celles-ci, le chercheur ajoute des notes, des balises, des guides qui indiquent plus précisément dans quelle direction il a l'intention d'aller avec cette question.

Enfin, la dernière étape consiste à produire le canevas de façon professionnelle. Toujours selon Paillé (1991), les spécifications devraient être en caractère gras afin de les faire ressortir et le tout devrait être bien aéré pour ne pas se répéter ou oublier une question.

Il ne faut pas oublier que le canevas d'entretien est un outil évolutif qui peut et va s'adapter au fil des séances. Ces modifications peuvent prendre la forme de nouvelles spécifications ou de reformulation de certaines questions (Sylvain, 2002).

La nature non dirigée de l'entretien suppose également des questions ouvertes. Ce type de questions a l'avantage de favoriser la libre expression et d'obtenir des données descriptives plus riches (Fortin et Gagnon, 2010). Elles permettent donc au chercheur d'explorer et d'aller en quête de sens. De plus, elles permettent une relation et une proximité entre l'animateur et le participant (Fortin et Gagnon, 2010). Lorsque ce

dernier formule une réponse qui nécessite un approfondissement, l'animateur peut tout de suite intervenir et amener le participant à dévoiler des informations importantes et pertinentes qui n'auraient pas pu émerger lors d'une entrevue dirigée, par exemple. En contrepartie, les questions ouvertes supposent une contribution active des participants. Ce n'est pas tout le monde qui est à l'aise de s'ouvrir et d'exprimer verbalement ce qu'il pense et ressent (Fortin et Gagnon, 2010). Enfin, il y a la question du temps. Les réponses données à des questions ouvertes sont souvent plus longues et plus hétérogènes ce qui rend le travail de retranscription et d'analyse plus long et difficile (Fortin et Gagnon, 2010).

Notons qu'un canevas d'entretien peut s'avérer très utile pour structurer la pensée du chercheur, comme nous l'avons vu dans la section précédente. En utilisant les étapes proposées par Paillé (1991), le chercheur se doit de réfléchir et de se projeter dans sa séance d'entrevue. En outre, il ne faudrait pas que le chercheur se trouve prisonnier du guide d'entretien. Une erreur qui pourrait survenir serait de négliger ce que les participants répondent en cours d'entrevue et de se concentrer uniquement sur le guide. Si tel est le cas, le chercheur pourrait manquer l'occasion d'approfondir plusieurs sujets auxquels il n'avait pas pensé en construisant son questionnaire.

3.3.2 Questionnaire à propos des phases de la Lune

Le questionnaire quantitatif utilisé dans le cadre de la présente recherche a été développé par Pierre Chastenay et Martin Riopel de l'Université du Québec à Montréal (Chastenay et Riopel, sous presse). C'est un questionnaire comportant 18 questions à choix de réponse à propos des phases de la Lune. Il a été validé pour un niveau de lecture du 3^e cycle du primaire et 1^{er} cycle du secondaire (11-14 ans) et une comparaison prétest vs post-test sans traitement a montré qu'il ne provoque pas d'apprentissage. Les questions sont basées sur des concepts fréquemment évoqués par les élèves au sujet des phases de la Lune ainsi que des éléments minimums pour

comprendre le mécanisme des phases. Il est destiné à être utilisé comme pré et post-test et permettra de recueillir des données quantitatives sur l'évolution conceptuelle des participants à propos des phases de la Lune. En outre, il permettra une triangulation des données avec celles obtenues lors des entrevues de groupes. Plus particulièrement, il permettra de déterminer si les améliorations apportées à la séance allocentrique dans un planétarium numérique mènent à une meilleure compréhension du mécanisme des phases lunaires par les élèves participants.

Le questionnaire permet, grâce à son caractère anonyme, une réponse de tous les participants. L'uniformité du questionnaire permet une comparaison entre les résultats. Enfin, il permet d'obtenir des données rapidement et qui sont faciles à traiter (Fortin et Gagnon, 2010).

En contrepartie, les questionnaires sont plutôt rigides et dans certains cas ils ne permettent pas d'approfondir les connaissances du participant. Il y a aussi la possibilité que plusieurs participants ne répondent pas aux questions, ce qui viendrait affaiblir l'échantillon (Fortin et Gagnon, 2010).

3.4 Protocole

Les présentations des différentes itérations de la séance ont été faites au planétarium Rio Tinto Alcan de Montréal dans le théâtre nommé *Théâtre de la Voie Lactée*. Ce théâtre de planétarium est muni de 192 places assises, d'un dôme de 18 mètres de diamètre, d'un projecteur d'étoiles central et de deux projecteurs vidéo. L'équipement et l'emplacement ont été offerts gratuitement par le planétarium en soutien à la présente recherche. Les séances ont été dirigées par son réalisateur qui est aussi l'auteur de ce travail et un animateur scientifique au Planétarium de Montréal.

Les écoles visées ont été contactées par l'entremise du courriel de la direction de l'établissement. Dans ce courriel, nous avons présenté le projet, ce que nous attendions des élèves et le déroulement de la visite au planétarium. Nous avons précisé que l'enseignant n'a pas besoin de préparer quoi que ce soit avant l'activité et que cette dernière est gratuite. Nous avons invité l'établissement à partager ce courriel avec les classes de 3^e cycle les plus susceptibles de participer à notre recherche et nous avons établi le contact avec les enseignants afin de mettre en place un échéancier. Une seule classe a été sélectionnée par itération et elle s'est vu transmettre les feuilles de consentement à remplir par les élèves et le formulaire d'éthique décrivant brièvement la recherche (présentés en annexe). Les classes qui ont manifesté un intérêt, mais qui n'ont pas été retenues (conflit d'horaire par exemple) se sont fait proposer un autre échéancier pour une seconde itération.

Une semaine avant la visite au planétarium, les élèves de la classe se prêtant à l'exercice ont rempli le questionnaire à propos des phases de la Lune. Ils ont refait le même exercice une semaine après avoir assisté à la présentation. Lors de la journée de la présentation, la classe a été accueillie par le présentateur de la séance et menée au théâtre où s'est déroulée la séance. Avant le début de celle-ci, le présentateur a collecté les formulaires de consentement et a expliqué brièvement en quoi consiste la recherche, soulignant au passage ce qu'il attendait des participants. À la suite de la séance, le présentateur a conduit l'entrevue de groupe. Cette dernière ayant été enregistrée en audio seulement.

Lors de la dernière visite en classe (post-test), le chercheur a remercié les participants et leur a demandé s'ils seraient intéressés par les résultats de la recherche. Il s'est engagé à leur faire parvenir ces derniers par l'entremise de l'enseignant.

3.5 Analyse des données

Deux types de données ont été utilisées dans ce travail : quantitative et qualitative. Ces données nécessitent des méthodes d'analyses différentes. Cette section présentera les méthodes utilisées pour analyser les verbatim et celle utilisée pour analyser le questionnaire.

3.5.1 Données qualitatives

Cette section présentera la méthode employée pour analyser le verbatim produit lors de l'entrevue de groupe. Deux méthodes, une inductive pure et l'autre délibératoire, seront utilisées pour l'analyse. L'analyse inductive permet au chercheur de faire ressortir des unités de sens à partir de données brutes. De ces unités de sens, le chercheur peut extraire une généralisation de la situation. Ainsi, l'analyse inductive ne tente pas de vérifier un cadre théorique préétabli, mais plutôt de donner un sens à ce qui est observé (Blais et Martineau, 2006).

Plusieurs logiciels existent afin de faciliter l'analyse de données qualitatives. Il a été décidé d'utiliser le logiciel QDA Miner Lite principalement pour des raisons économiques et de disponibilité. Ce logiciel, dans sa version Lite, permet de coder des unités de données (mots, phrases, paragraphes ...) avec des catégories et des sous-catégories.

3.5.1.1 Inductif pur

Dans le cadre de ce travail, l'analyse inductive pure a pour but de faire ressortir les éléments de l'entrevue sans se baser sur un cadre théorique ou même sur la question de recherche. Plusieurs processus d'analyse de données qualitatives existent et, dans le cadre de ce travail, celui de Huberman *et al.* (1991) a été utilisé. Cette méthode

s'échelonne en sept étapes suivant une étape préliminaire où le chercheur va inscrire des mémos et réviser son journal de bord de l'entrevue.

1. Préparer les données
2. Révision
3. Première lecture
4. Premier codage
5. Restructuration
6. Deuxième codage
7. Conclusions

La première étape consiste à la retranscription de l'entrevue de groupe afin de produire un verbatim qui pourra être analysé au moyen du logiciel. Afin d'être cohérent et de faciliter le travail, il est important de produire une mise en page simple et claire.

La seconde étape est un rappel au chercheur de revoir ses objectifs de recherche et son canevas d'entretien afin de l'avoir en tête lors de la lecture des données. Notons toutefois que dans le cas de l'analyse inductive pure, la seconde étape peut être volontairement omise. Dans ce type d'analyse, le chercheur tente de faire ressortir l'information sans cadre ou idées préconçues.

La première lecture s'effectue lors de la troisième étape. Il est important de lire le verbatim en entier et d'établir une structure embryonnaire de codage. Cette structure servira lors de la quatrième étape afin de produire un premier codage. Dans cette étape, le chercheur souligne les unités de données qui lui semblent pertinentes et leur attribue un code. Les codes ne sont pas encore bien définis et certains peuvent apparaître au besoin. Il est important de ne pas se restreindre à cette étape.

La cinquième étape est celle de la restructuration et consiste à réviser la liste de codes produite lors de l'étape précédente. Ainsi, le chercheur peut diviser ou fusionner des codes et les regrouper sous différentes catégories, suivant ce qu'il observe après l'étape 4. Certaines catégories peuvent disparaître ou être fusionnées si le chercheur ne les

trouve pas pertinentes ou constate une redondance. D'un autre côté, diviser certains codes peut s'avérer nécessaire s'ils sont trop généraux et limitent l'analyse en profondeur des données.

Suite à cette restructuration, le deuxième codage peut commencer (sixième étape). Le chercheur relit le corpus en entier en le recodant avec la liste de code nouvellement restructurée.

Finalement, la dernière étape est l'élaboration de la conclusion. Huberman *et al.* (1991) suggèrent 12 différentes méthodes pour l'interprétation des données. Afin de répondre aux objectifs de recherche, il a été décidé, parmi toutes ces méthodes, de repérer les relations entre variables. Le risque d'utiliser cette méthode est d'attribuer des causalités là où il n'y en a pas. La révision par un pair serait une bonne solution pour éviter ce risque. Notons que cette révision n'est pas nécessaire lors de la première itération puisque les relations entre variables identifiées à la suite de celle-ci pourront être vérifiées au moins une deuxième fois lors de l'itération suivante.

3.5.1.2 Inductif délibératoire

L'analyse inductive délibératoire, contrairement à l'analyse inductive pure, se base sur un cadre théorique. Le chercheur utilise les éléments du cadre théorique de sa recherche pour analyser ses données. Il va donc faire ressortir les unités de données qui concernent les différentes sections et sous-sections de son cadre théorique. En ce qui concerne ce travail, le cadre théorique comprend trois grandes catégories :

- Les changements conceptuels à propos des phases de la Lune
- Les conceptions alternatives à propos du système Terre-Lune-Soleil
- Les habiletés spatiales

La notation des changements conceptuels s'est faite en se concentrant sur les quatre étapes de Posner et al. (insatisfaction, intelligibilité, plausibilité et possibilité). Celle

des habiletés spatiales s'est faite en reprenant les trois habiletés décrites dans le chapitre précédent (perception spatiale, visualisation spatiale et rotation mentale). Puisqu'il existe une myriade de conceptions alternatives, elles ont toutes été notées sous la même étiquette.

Afin de comparer les deux méthodes (délibératoire et pure), la même démarche d'analyse finale, celle de Huberman *et al.* (1991) décrite plus tôt, a été utilisée.

3.5.2 Données quantitatives

Les données quantitatives sont celles récoltées par le questionnaire à propos des phases de la Lune (Chastenay et Riopel, sous presse). Comme avec l'entrevue de groupe et l'analyse de données qualitatives, il existe de nombreux logiciels permettant de traiter les données quantitatives. Nous avons décidé d'utiliser le logiciel SPSS principalement pour les mêmes raisons que le logiciel QDA Miner Lite, soit sa disponibilité et son coût.

Le logiciel SPSS nous permet d'effectuer un test de comparaison des moyennes pré- et post-traitement pour échantillons appariés afin de vérifier s'il y a un gain dans l'apprentissage à propos des phases de la Lune suite à la présentation au planétarium. Nous allons privilégier un simple test-t pour comparer les moyennes, mais puisque l'échantillon est petit à chaque fois (entre 20 à 25 individus), il se peut que nous soyons contraints d'utiliser un test non paramétrique, par exemple un test de Wilcoxon pour rangs appariés, si la distribution des données n'est pas normale.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS ET ANALYSES

« There are two possible outcomes: if the result confirms the hypothesis, then you've made a measurement. If the result is contrary to the hypothesis, then you've made a discovery. »
Enrico Fermi (1901-1954)

Le dernier chapitre de cette recherche regroupera les résultats et l'analyse de ceux-ci. Habituellement, ces points sont divisés dans deux chapitres différents; toutefois, en raison de la nature itérative de la recherche de développement, il est primordial d'analyser les résultats après chaque séance puisqu'ils influencent directement les modifications qui y seront apportées. Conséquemment, il sera plus simple pour le lecteur de voir les résultats et leurs impacts dans le même chapitre.

Avant de poursuivre avec les résultats, il serait bon de rappeler les objectifs de la recherche. Le premier était de réaliser une séance allocentrique dans un planétarium numérique à propos des phases de la Lune en se basant sur les théories existantes, soit le changement conceptuel de Posner *et al.*, les conceptions alternatives des participants et l'impact des habiletés spatiales sur l'apprentissage de l'astronomie, afin d'identifier les éléments et composantes les plus importants pour favoriser l'apprentissage d'élèves de la fin du primaire à propos des phases de la Lune lors d'une séance allocentrique dans un planétarium numérique. Rappelons que ces composantes peuvent être le

scénario, la mise en scène, la bande sonore, etc. Le deuxième objectif était de déterminer si une telle séance allocentrique favorise la compréhension du mécanisme des phases de la Lune par des élèves du primaire.

Conformément à ce qui a été évoqué à la fin de la section 3.1 au sujet des avantages et inconvénients de la recherche de développement, la saturation des données est survenue après la 3^e itération. Ainsi, le chapitre sera divisé en cinq sections. Les trois premières traiteront des différentes itérations de la séance en détaillant le scénario et les modifications apportées à celui-ci. Les éléments récoltés lors de l'entrevue de groupe suivant la séance seront aussi présentés.

La quatrième section sera destinée au second objectif et présentera les résultats des questionnaires pré et post séance ainsi que l'analyse statistique de ces résultats. Puisque nous étions arrivés à saturation, la troisième itération de la séance a été utilisée pour répondre au deuxième objectif.

Le chapitre se terminera en présentant nos recommandations quant à la réalisation d'une séance dans un planétarium numérique de même que notre réflexion sur l'utilisation de cette intervention didactique pour l'apprentissage des phases de la Lune auprès d'élèves du 3^e cycle du primaire.

Tous les sujets de l'étude sont des élèves du 3^e cycle de l'école primaire Maisonneuve de la Commission scolaire de Montréal. Cette école a été contactée en premier dû à sa proximité avec le planétarium. Il n'a pas été nécessaire de contacter d'autres écoles puisque le nombre de participants nécessaires à la réalisation de cette recherche a été atteint avec cette seule école.

Afin de répondre à des exigences particulières de coordination avec une programmation de recherche de plus grande envergure, cette recherche a obtenu deux

certificats d'éthique : le premier a été émis au début de l'année 2017 au nom de Pierre Chastenay et le second en 2019 au nom de l'auteur, Simon A.Bélanger.

4.1 Première itération

La première itération de la séance a eu lieu le 13 février 2017 de 9h00 à 12h00 au Planétarium de Montréal, 4801 avenue Pierre-de Coubertin, à Montréal. Les sujets de cet exercice étaient des élèves de la classe de 6^e année (10-12 ans) de Mme Véronique Bergeron, de l'école Maisonneuve. En arrivant, la classe a été accueillie et menée au théâtre de la Voie Lactée du planétarium par l'animateur de la séance (qui est aussi l'auteur de ce travail). Les participants ont été répartis dans le théâtre de sorte que tout au long de la séance, il n'y ait jamais de point d'intérêt placé derrière eux (les participants étaient assis face au sud). Ainsi, tous les éléments, l'action et les objets se présenteront devant eux au cours de la séance. Outre les élèves de la classe, leur enseignante et l'animateur de la séance, il y avait un technicien de planétarium qui s'assurait du bon fonctionnement de l'enregistrement audio.

Avant le début de la séance, le chercheur se présente et présente le technicien du planétarium. Suit la présentation du théâtre, des projecteurs, de la forme de l'écran et des autres éléments visibles afin de démystifier le planétarium. Enfin, il termine son introduction en expliquant brièvement en quoi consiste la recherche, soulignant au passage ce qu'il attend des participants.

La première partie de la séance se déroule sur la Terre et présente la Lune à chaque jour pendant un mois lunaire (28 jours). Le but est de placer tous les participants au même niveau en démontrant que les phases de la Lune se succèdent dans un ordre

précis et sont donc prévisibles. Cette constatation est nécessaire pour l'explication du mécanisme qui sera élaboré plus tard au cours de la séance.

4.1.1 Le scénario

La séance débute avec le Soleil de midi. Le chercheur accélère le mouvement diurne du ciel pour faire passer le Soleil sous l'horizon ouest et faire se lever le premier quartier de la Lune à l'horizon est. Les participants se font alors présenter quatre images représentant chacune une phase et le chercheur leur demande de voter, en tapant des pieds, pour celle qui selon eux représente le mieux la phase de la Lune que l'on pourrait observer si l'on avançait le temps de 4 heures.



Figure 4.1 Choix des phases

À la suite de ce vote, le temps est accéléré pour faire un bond de 4 heures et constater le résultat (la phase est la même).

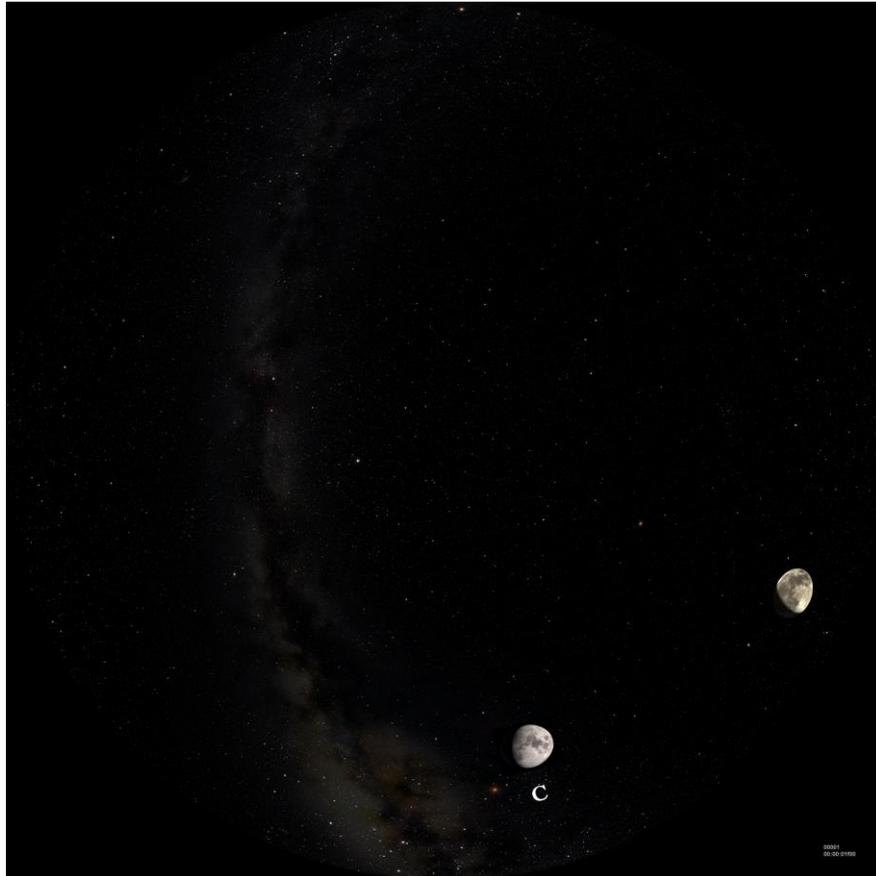


Figure 4.2 Présentation de la réponse

Le chercheur demande par la suite aux participants d'anticiper la phase de la prochaine journée, toujours en présentant quatre choix. Une fois le vote fait, le mouvement du ciel est accéléré et les participants voient défiler devant eux une journée entière. La Lune est par la suite grossie pour constater la bonne réponse (il n'y a pas une grande différence).

À la suite de quoi le chercheur fait apparaître un cercle autour de la Lune. Il demande aux participants s'ils croient que la Lune reviendra au même emplacement le lendemain. Après le vote, le ciel est avancé d'une journée entière (les participants voient le lever et le coucher du Soleil) alors que le cercle ne bouge pas. Les participants sont alors en mesure de constater que la Lune ne revient effectivement pas au même endroit dans le ciel par rapport aux étoiles (elle est environ 12 degrés plus à l'est).



Figure 4.3 Déplacement de la Lune

L'animateur accélère le déroulement du temps afin que les participants constatent l'évolution de la Lune sur plusieurs jours. La Lune semble faire de petits bonds dans le ciel, s'arrêtant brièvement chaque jour pour que l'on constate son changement de phase. Lorsque la phase de pleine lune est atteinte, un mouvement diurne du ciel est amorcé pour passer du coucher du soleil au lever. Cela déplace la Lune de l'horizon est à

l'horizon ouest. Puis, on relance le mouvement annuel de la Lune, avançant le temps par bonds de 24h jusqu'à ce que notre satellite naturel disparaisse en phase de nouvelle lune. Un nouveau mouvement diurne fait coucher le Soleil et on finit les mouvements quotidiens de la Lune en la replaçant en phase de premier quartier. Ainsi, les participants ont vu un cycle complet des phases de la Lune et ils ont constaté le mouvement journalier vers l'est de notre satellite naturel.

Un récapitulatif des phases de la Lune est alors fait en présentant les quatre phases croissantes et leur nom, suivi des quatre phases décroissantes et leur nom.

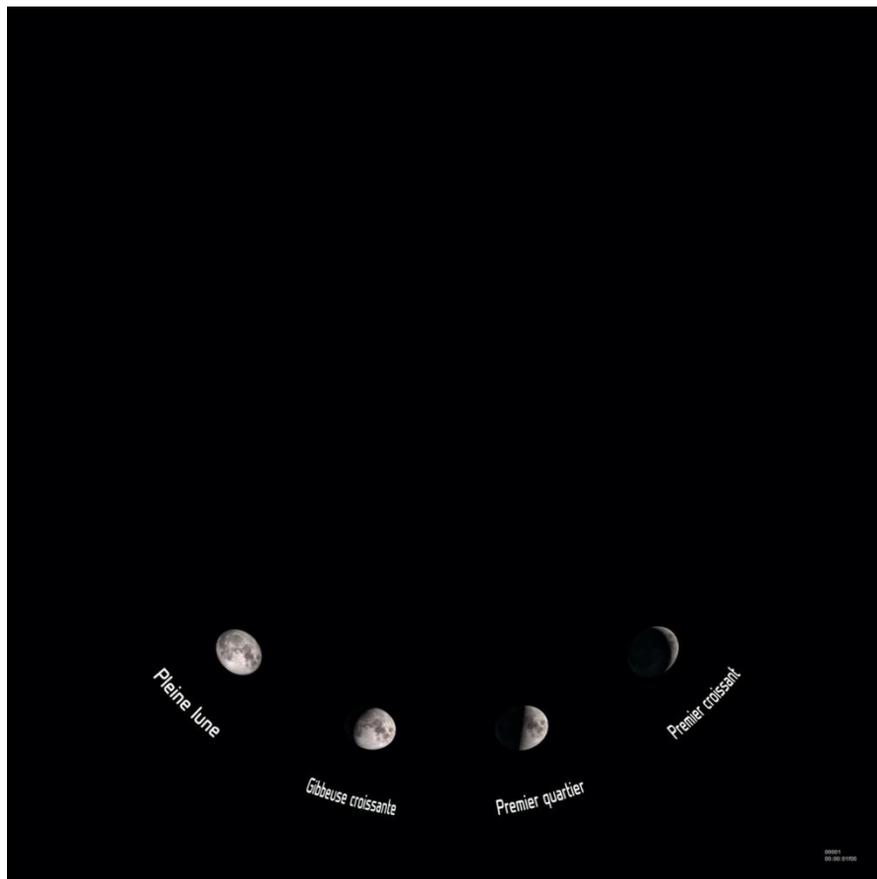


Figure 4.4 Les quatre phases croissantes

Le récapitulatif se finit en présentant un truc pour savoir si la phase est le premier quartier ou le dernier quartier. Lorsque la lune est en phase croissante, il est possible

de dessiner un « p » avec la partie éclairée. Le « p » fait alors référence à « premier » comme dans premier croissant et premier quartier. Lorsque la lune est en phase décroissante, on peut imaginer un « d ». À ce moment-là, le « d » fait référence à « dernier » comme dans dernier croissant et dernier quartier.

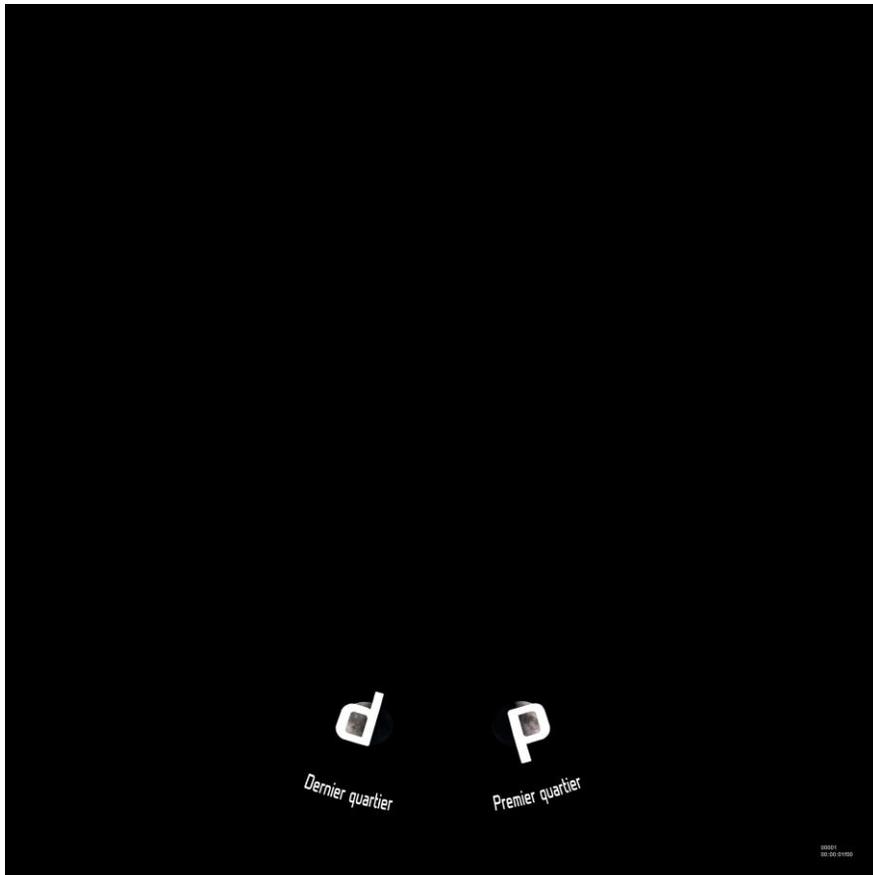


Figure 4.5 Le truc du d et du p

La seconde partie de la présentation se déroule dans l'espace. Le théâtre agit alors en qualité de vaisseau spatial et permet un point de vue allocentrique sur le système Soleil-Terre-Lune. Le but de ce voyage est de montrer aux participants un modèle tridimensionnel du système Soleil-Terre-Lune afin d'expliquer le phénomène des phases de la Lune tel que vu sur Terre.

Le décollage amène les spectateurs en orbite terrestre basse. La Terre est le point d'intérêt de ce premier volet et alors que le théâtre complète une orbite, les spectateurs sont en mesure de constater la sphéricité de notre planète en plus de la partie jour et nuit.

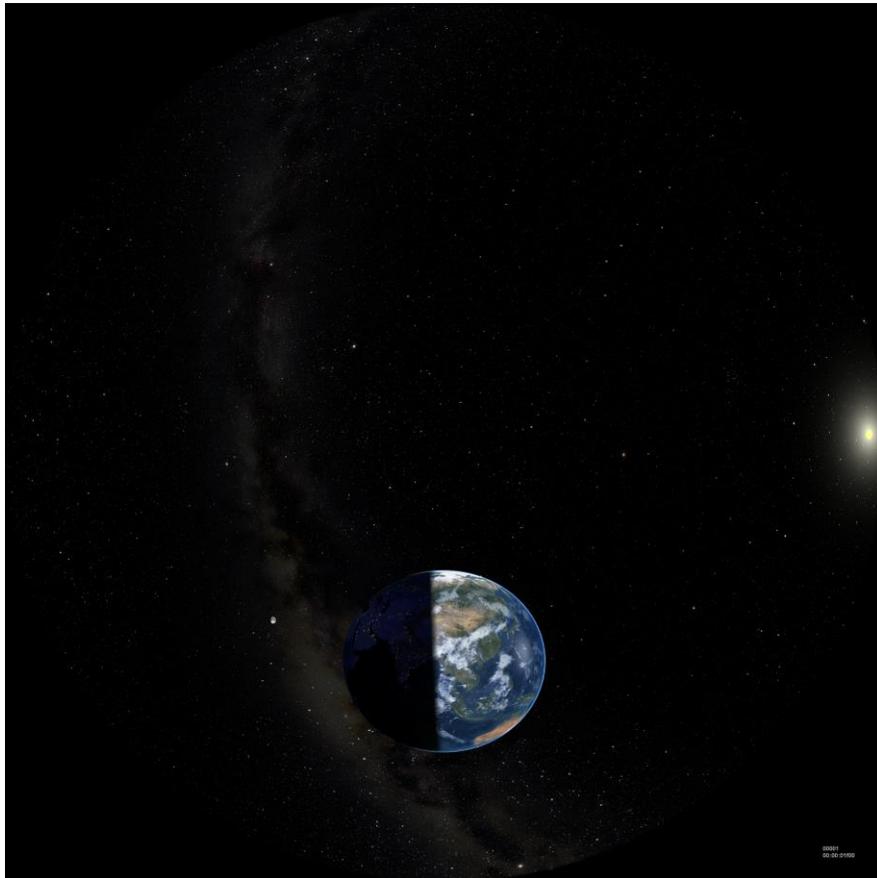


Figure 4.6 La Terre, le Soleil et la Lune vue de l'espace

Le chercheur explique que la Terre ne produit pas sa propre lumière et que la partie éclairée, le jour, l'est par la lumière du Soleil, tandis que la nuit est le résultat de la projection de l'ombre de la Terre sur elle-même. Suite à la complétion de l'orbite, le chercheur annonce qu'il va « éteindre » le Soleil. Se faisant, les spectateurs constatent que la Terre n'est plus du tout éclairée. En « rallumant » le Soleil, la dichotomie jour-nuit de la Terre réapparaît. Ayant expérimenté le phénomène autour d'un environnement familier, le chercheur amène les spectateurs en orbite autour de la Lune

pour explorer les mêmes éléments. En orbitant notre satellite naturel, les spectateurs se font encore présenter un objet sphérique qui est à moitié éclairé par le Soleil et à moitié dans son ombre propre. Le chercheur répète l'expérience d'éteindre et d'allumer le Soleil pour constater l'effet sur la Lune. Ces expériences visent à montrer que la Lune, tout comme la Terre, est une sphère éclairée par le Soleil.

Après avoir exploré la Terre et son satellite naturel, le chercheur annonce qu'ils vont maintenant quitter le système Terre-Lune pour observer le mouvement orbital de cette dernière. À la suite du mouvement de recul, le Soleil, la Lune et la Terre font partie du champ de vision des participants. Puisqu'à cette distance, la Terre et la Lune sont difficiles à discerner, le chercheur annonce qu'il grossira les deux objets par un facteur de dix.

Tout au long du mouvement de recul, la Lune avance sur son orbite et laisse une trace derrière elle qui dessine sa trajectoire autour de la Terre. Le chercheur explique qu'elle prend 28 jours pour compléter une orbite autour de la Terre. À la fin du mouvement, la Lune est en phase de premier quartier. Le chercheur demande alors aux participants de deviner quelle phase de la Lune est visible depuis la Terre. Après le vote, il rapproche le vaisseau-théâtre de la Terre afin de se remettre dans un point de vue géocentrique et constater la phase de la Lune. Puis, le chercheur repositionne le vaisseau à la même place, loin du système Terre-Lune. Ce processus est recommencé pour les phases de pleine lune, dernier quartier et nouvelle lune.



Figure 4.7 Le dernier quartier depuis un point de vue allocentrique

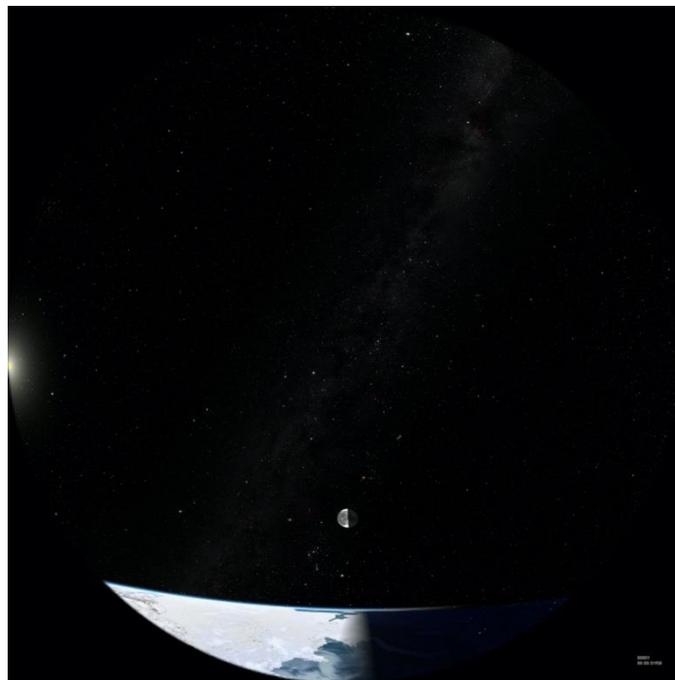


Figure 4.8 Le dernier quartier depuis un point de vue géocentrique

Par la suite, le chercheur positionne le vaisseau afin d'obtenir une vue polaire de la planète Terre et le temps avance jusqu'au premier quartier de lune. De façon analogue à l'exercice précédent, le chercheur demande aux élèves de se positionner comme s'ils étaient sur Terre et de deviner la phase de la lune visible depuis notre planète. Cette fois, un choix de réponse est présenté devant les participants. La réponse est par la suite montrée, mais le vaisseau ne bouge pas. Cet exercice se répète pour les phases de pleine lune, dernier quartier et nouvelle lune.

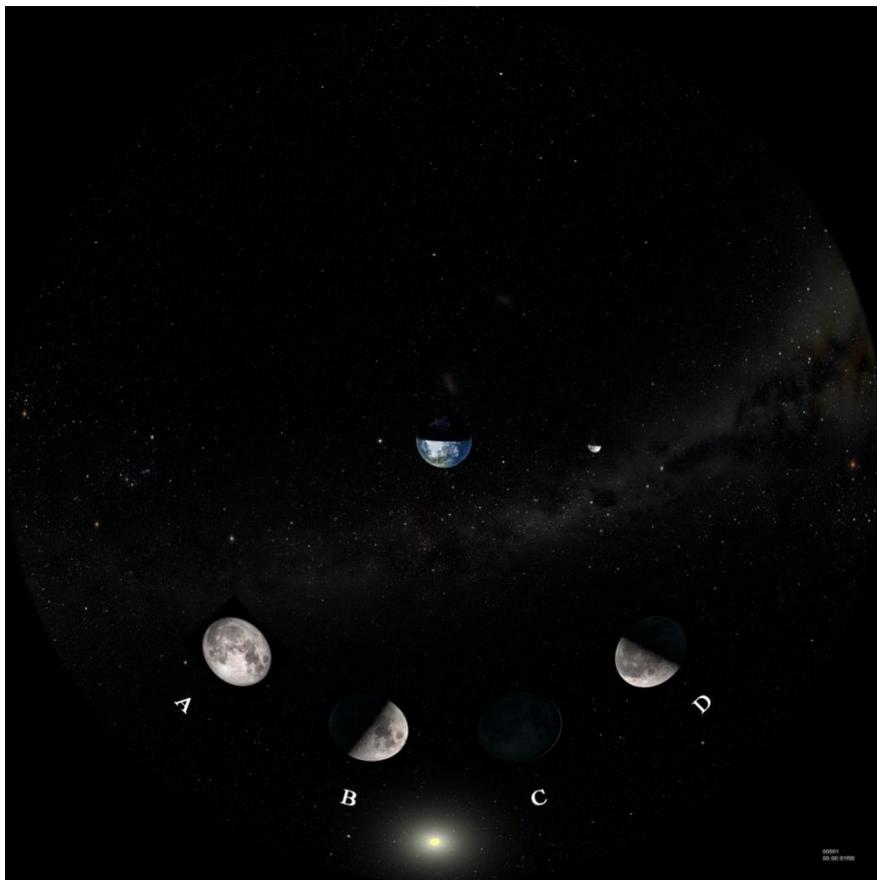


Figure 4.9 Phases de la Lune en vue polaire

Toujours en vue polaire, la Lune effectue un mouvement orbital complet (28 jours) sans s'arrêter. À chaque fois qu'elle passe à la position de premier quartier, pleine lune,

dernier quartier et nouvelle lune, une image de cette phase visible depuis la Terre apparaît.

Un récapitulatif est maintenant de mise. La scène coupe et montre trois éléments qui ont été explorés récemment et qui sont fondamentaux à la compréhension des phases de la Lune : la Lune est une sphère; elle est éclairée par le Soleil; et elle tourne autour de la Terre en 28 jours. Le récapitulatif se termine alors que le vaisseau se place juste au-dessus du pôle Nord de notre planète et suit la Lune sur un cycle complet.

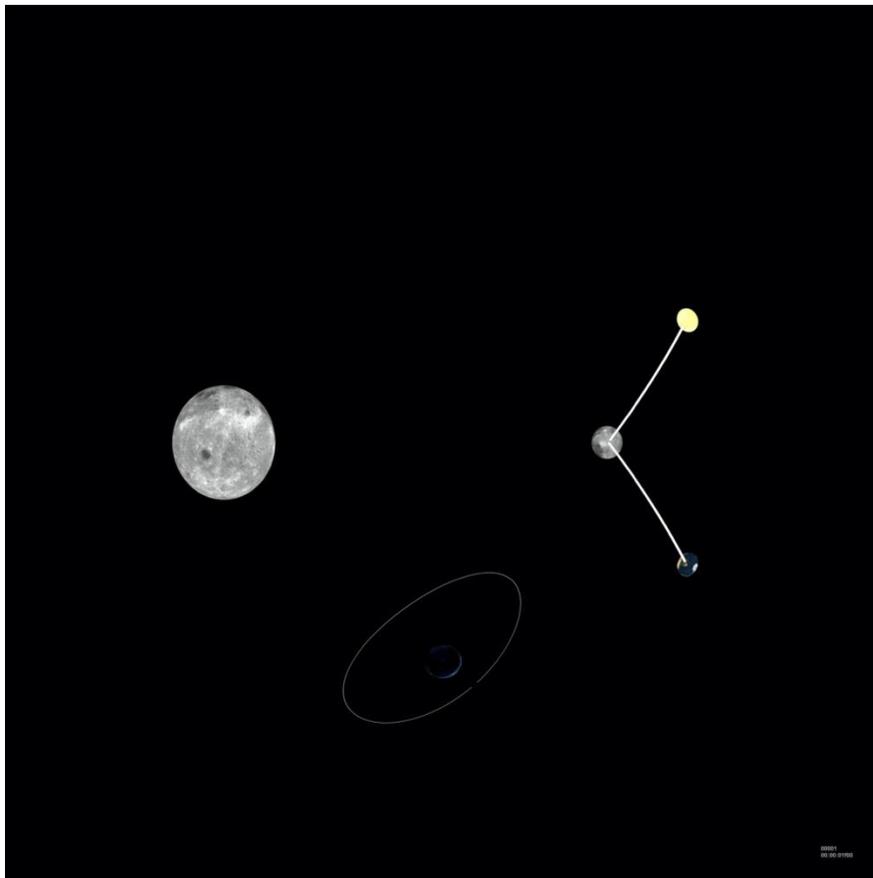


Figure 4.10 Récapitulatif

La troisième et dernière partie de l'intervention est de montrer qu'il existe des phases partout. Le but ici est de renforcer les apprentissages faits récemment en les plaçant dans différents contextes.

Après le résumé, le chercheur demande si les autres satellites du système solaire ont aussi des phases. Peu importe la réponse, il déplace le vaisseau vers la planète Jupiter et ses lunes. Il place le vaisseau afin d'avoir une vue du pôle Nord de Jupiter ainsi que ses quatre principales lunes : Io, Europe, Ganymède et Callisto. Après avoir fait remarquer que ces objets tournent autour de la planète, qu'ils sont sphériques et éclairés d'un côté par le Soleil, le chercheur place le vaisseau tout juste au-dessus du pôle Nord de Jupiter et l'oriente pour que les participants aient dans leur champ de vision les satellites galiléens⁶. Le vaisseau suit la lune Europe sur une orbite complète, voyant ainsi les phases de ce satellite naturel évoluer de la même façon que la Lune. À la suite de ce mouvement, le vaisseau reste stationnaire pendant quelques dizaines de secondes et le chercheur dirige le regard des participants vers les autres lunes galiléennes afin de montrer qu'elles aussi montrent des phases.

⁶ Io, Europe, Ganymède et Callisto, découverts par l'astronome italien Galileo Galilei en 1610.

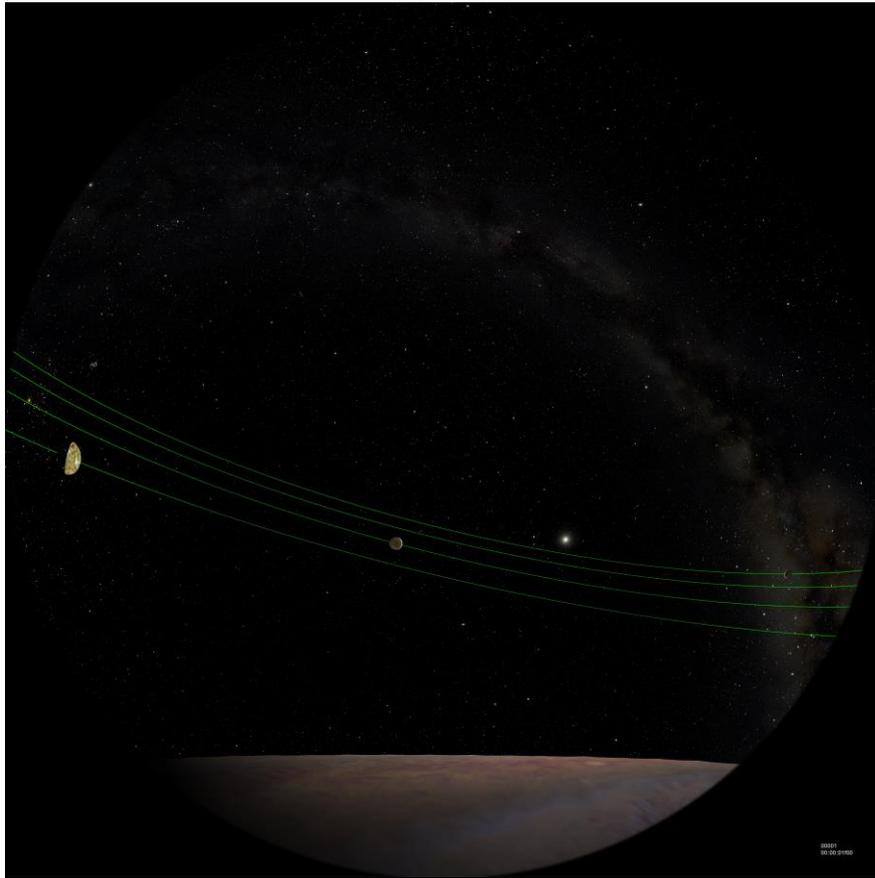


Figure 4.11 Vue des lunes galiléennes depuis Jupiter

Le chercheur demande aux participants si les planètes peuvent aussi montrer des phases. Il actionne les moteurs du vaisseau et transporte les participants vers l'orbite de la Terre. En quittant la planète Jupiter, le vaisseau se retourne et les orbites des 62 lunes de Jupiter s'allument. Le chercheur explique que plusieurs planètes dans le système solaire, notamment Jupiter et Saturne, possèdent des dizaines de satellites naturels.

Arrivé à la hauteur de l'orbite terrestre (la Terre n'est pas dans le champ de vision des participants), le chercheur affiche les orbites de Vénus et Mercure et annonce qu'il est possible de voir des phases avec ces planètes parce qu'elles se situent entre la Terre et le Soleil. Comme il l'a fait avec la Terre et la Lune précédemment, il agrandit Mercure

et Vénus par un facteur de 10 pour qu'elles soient facilement visibles par les participants et il accélère le temps afin de voir les deux planètes compléter une révolution autour du Soleil. Il montre par le fait même l'existence de phases planétaires.

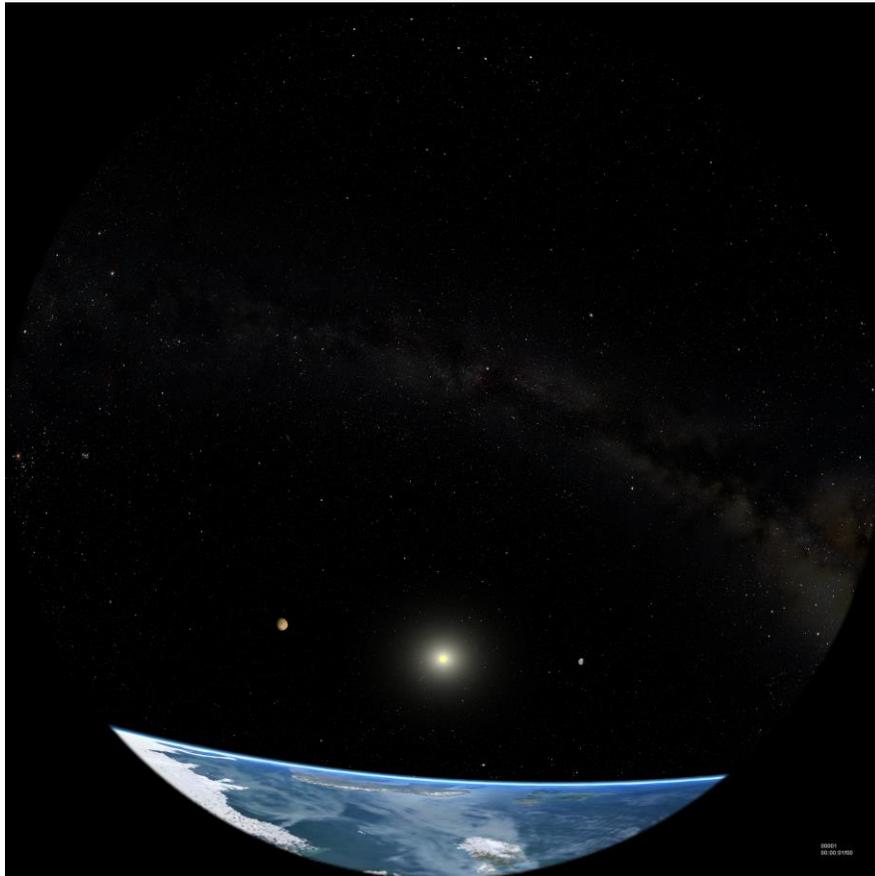


Figure 4.12 Vue des phases de Vénus et Mercure depuis la Terre

Le dernier volet de la séance se déroule sur la Lune. Le chercheur demande alors si la Terre montre des phases. Pour y répondre, il fait atterrir le vaisseau sur notre satellite naturel de façon à avoir la Terre dans le champ de vision. Un panorama⁷ apparaît pour

⁷ Dans le contexte des planétariums, un panorama est une image circulaire qui fait le tour du dôme et qui représente un paysage, donnant ainsi l'impression aux spectateurs de se trouver à la surface de l'astre.

simuler le sol lunaire. Les participants sont alors en mesure de constater que la Terre montre effectivement une phase, puisqu'elle se trouve en premier quartier. Le chercheur avance le temps de 7 jours afin d'en arriver à une phase « pleine terre ». Le panorama devient très sombre et le chercheur demande aux participants de deviner quelle phase de la Lune est visible depuis la Terre. La réponse est présentée avec une photo de la Lune prise de la Terre. Cet exercice se répète trois autres fois (dernier quartier, nouvelle terre et premier quartier). Les participants découvrent ainsi que les phases de la Lune et les phases de la Terre sont similaires, mais opposées. La séance se termine avec un retour du groupe sur la Terre.



Figure 4.13 Vue d'une phase terrestre depuis la Lune

4.1.2 L'entrevue de groupe

L'entrevue de groupe se fait tout de suite après la fin de la séance, dans le même théâtre et suivant le canevas d'entretien. Le chercheur a demandé aux participants de s'identifier avant chaque réponse afin qu'il puisse plus facilement les reconnaître, et rappelle à tous qu'il n'est pas obligatoire de répondre aux questions et que l'entrevue est enregistrée.

Avant même que le chercheur ne pose la première question afin de lancer la discussion, une des participantes lève la main et demande :

« Mais comment se forme une éclipse solaire d'abord ? »

Le sujet étant intimement liée aux phases de la Lune et n'ayant pas été touché dans cette séance, c'est visiblement une question qui doit être abordée afin de comprendre l'entièreté du mécanisme des phases de la Lune. Il est également probable que la question soit née du fait que cette élève croyait que l'ombre de la Terre projetée sur la Lune était à l'origine des phases, une explication clairement discréditée par la séance, ce qui est un signe clair d'évolution conceptuelle. Le thème des éclipses devra définitivement être intégré dans une future itération de la séance.

Après une brève explication du phénomène des éclipses, le chercheur poursuit avec ses questions. Parmi les points positifs mentionnés par les participants au cours de la discussion, une vaste majorité de ces remarques faisait référence au voyage dans l'espace, au sentiment d'immersion et au point de vue allocentrique.

« Moi j'ai aimé qu'on ait pu voir d'autres lunes que la nôtre, dont celles de Jupiter. Pis j'ai aimé qu'on puisse voir d'un autre point de vue notre Lune dans

l'espace. Je savais que la Terre avait ses phases, mais je ne savais pas que c'était le contraire de celles de la Lune. »

Ce commentaire résume bien la majorité des commentaires qu'on pourrait placer sous la catégorie « positif ». Les points les plus souvent évoqués sont la découverte de phases à la Terre, Mercure et Vénus, le vol dans l'espace et l'immersion créée par ce moment.

Du côté des points négatifs, beaucoup ont de l'inconfort en raison de la vitesse de déplacement lors des rotations et changements de position du vaisseau dans l'espace. La vitesse de déplacement étant probablement trop élevée, elle a occasionné à certains moments de la nausée, heureusement sans conséquence fâcheuse. La première partie de la séance est trop longue et redondante, de l'avis de certains participants, et contribue à une perte d'intérêt avant le décollage. Enfin, le son pourrait jouer un élément important.

« Les bruits, ça nous aurait aidés parce que c'est sûr qu'on voyait qu'on décollait, mais à certains moments on avait l'impression que c'est les choses autour qui bougeaient. On se sentait plus vraiment dans un vaisseau pis à d'autres moments on se sentait vraiment dans un vaisseau. »

Plusieurs participants ont acquiescé à ce témoignage et ont même suggéré différents sons pour différents moments. Subséquemment, une prochaine itération devra intégrer des bruits de réacteurs pour signaler que le vaisseau se déplace dans l'espace. Cet indice sonore devrait aider à créer l'illusion que c'est le vaisseau qui se déplace, et non pas la scène qui tourne autour de nous. Cela aura comme deuxième conséquence de contribuer au sentiment de présence et à l'immersion des participants.

Enfin, lors du voyage entre Jupiter et les planètes internes (Mercure et Vénus) ainsi que le voyage vers la Lune pour la dernière scène, plusieurs participants se sont sentis perdus dans l'espace et ne savaient plus où se ils se trouvaient par rapport à la Terre, au Soleil et à Jupiter. Des indices visuels pour aider les élèves à se repérer devront être intégrés à une prochaine itération.

En somme, la prochaine itération devra présenter une explication des éclipses, contenir des effets sonores permettant une meilleure immersion lors du voyage dans l'espace (2^e et 3^e partie de la séance) et ralentir les mouvements de rotation du vaisseau. Cette deuxième itération devra aussi faire un peu moins de place au point de vue géocentrique et capitaliser plus sur le point de vue allocentrique. Tout en facilitant le repérage des objets dans l'espace. En ce sens, il semble raisonnable que la présentation du phénomène des éclipses se fasse uniquement dans l'espace.

4.2 Deuxième itération

La deuxième itération de la séance a eu lieu le 7 octobre 2019 entre 9h00 et 11h00 au Planétarium de Montréal, 4801 avenue Pierre-de Coubertin, à Montréal. Les sujets de cet exercice étaient des élèves de 5^e année (11) et de 6^e année (7) sous la supervision de leur enseignante.

La classe a été accueillie et menée au théâtre de la Voie Lactée du planétarium par l'animateur de la séance, de la même façon qu'au cours de la première séance. Les participants sont placés dans le théâtre pour faire en sorte que, tout au long de la séance, il n'y ait jamais un point d'intérêt placé derrière eux (les participants sont assis face au sud). Pour cette séance, étaient présents dans le théâtre les participants, leur enseignante, l'animateur de la séance et un technicien du planétarium.

Avant le début de la séance, le chercheur se présente et présente le technicien du planétarium. Suit la présentation du théâtre, des projecteurs, de la forme de l'écran et des autres éléments visibles afin de démystifier le planétarium. Enfin, il termine son introduction en expliquant brièvement en quoi consiste la recherche, soulignant au passage ce qu'il attend des participants.

4.2.1 Changements dans le scénario

Reprenant la première version du scénario de manière intégrale, trois changements majeurs ont été apportés. Tout d'abord, une explication des éclipses a été ajoutée. Cette explication s'insère entre le récapitulatif de la seconde partie et le départ vers Jupiter. Ce moment dans le scénario marque la fin de l'explication des phases de la Lune autour de la Terre et le début de l'exploration des phases dans le système solaire. De ce fait, les participants devraient avoir une bonne connaissance des éléments essentiels à la compréhension des éclipses, soit la forme des objets impliqués (Lune, Soleil, Terre), leur propriété d'ombre et de lumière et leur mouvement l'un par rapport à l'autre. Enfin, dans la troisième partie du scénario, les participants sont témoins d'une « tache sombre » à la surface de la planète Jupiter. Cette tache est en réalité l'ombre de Io projetée sur les nuages de Jupiter, soit une éclipse du Soleil sur Jupiter. En outre, les participants seront confrontés, à l'instar des phases, à des éclipses lunaires et solaires autour d'objets différents de la Terre et de la Lune. C'est pour ces raisons qu'il a été décidé d'insérer cette exploration des éclipses à ce moment du scénario.

L'explication des éclipses débute alors que le point de vue des participants se trouve très loin du système Terre-Lune afin d'avoir dans le même champ de vision la Terre, l'orbite lunaire et le Soleil. Le chercheur fait apparaître deux cônes, l'un attaché à la Lune et l'autre à la Terre, tous deux pointant dans la direction inverse du Soleil. Ces cônes représentent les ombres projetées dans l'espace par ces deux objets célestes.



Figure 4.14 Les ombres de la Lune et de la Terre projetées dans l'espace

Au fur et à mesure que le temps avance, les spectateurs voient la Lune avancer sur son orbite. Ils constatent qu'à certains points au cours de sa révolution, la Lune semble entrer dans l'ombre de la Terre (éclipse de Lune, phase pleine lune) et parfois, l'ombre de la Lune touche la Terre (éclipse de Soleil, phase de nouvelle lune). Le questionnement qui émerge de cette situation est de savoir pourquoi n'y a-t-il pas des éclipses lunaires et solaires toutes les 2 semaines. Pour y répondre, le chercheur déplace le vaisseau-théâtre afin de voir l'orbite de la Lune autour de la Terre « de côté ». Les participants voient alors l'ombre de la Lune passer sous la Terre et la Lune passer au-dessus de l'ombre de la Terre. Le chercheur explique en quoi l'orbite inclinée de la Lune par rapport à l'orbite de la Terre autour du Soleil (écliptique) fait en sorte qu'il

n'y a, en moyenne, que 2 éclipses lunaires et 2 éclipses solaires par année. La démonstration se termine avec la vue d'une éclipse lunaire, alors que la Lune entre dans l'ombre de la Terre, et d'une éclipse solaire lorsque l'ombre de la Lune touche la Terre.

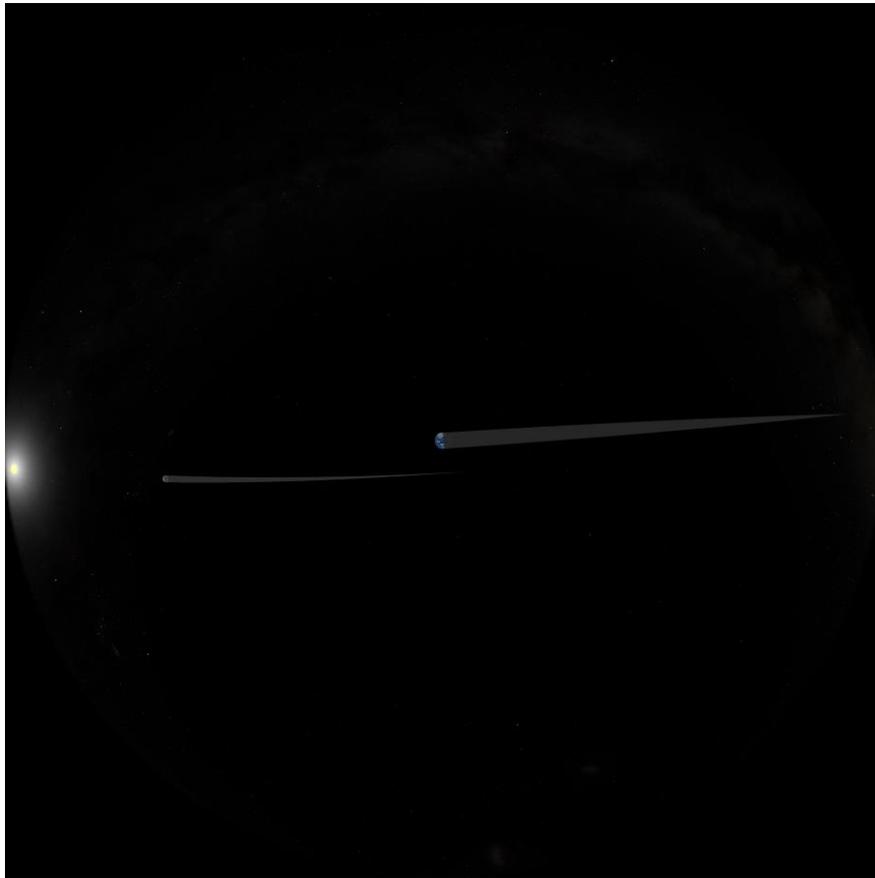


Figure 4.15 Vue de côté des ombres de la Lune et de la Terre

Le deuxième changement majeur au scénario initial se produit dans la première partie, lorsqu'il est question des phases de la Lune vues d'un point de vue géocentrique. Ce changement vise à accélérer le rythme de la présentation et éviter un sentiment d'ennui et de redondance du côté des participants. Ainsi, la section qui montre la Lune évoluer à travers ses phases décroissantes puis revenir dans ses phases croissantes (juste avant la présentation du nom des phases) a été retirée. Les participants sont donc témoins des

phases croissantes de la Lune jusqu'à la pleine lune. Par la suite, simulant un cycle complet (28 jours), la Lune disparaît du champ de vision des spectateurs par l'est pour revenir à l'ouest et compléter un cycle. En somme, plutôt que de faire deux ou trois mouvements cycliques longs, redondants et pas nécessairement très clairs, le scénario n'effectuera qu'un seul mouvement simple et prévisible. Bien que les participants ne voient pas toutes les phases de la lune à ce moment-là, ils auront la chance de les revoir d'un point de vue géocentrique et allocentrique dans les scènes suivantes.

Le troisième changement est l'ajout de sons de réacteurs lorsque le vaisseau amorce un mouvement dans l'espace. Du décollage de la Terre jusqu'à la fin de la séance, différents bruits de réacteurs indiqueront aux participants que ce sont eux (à bord du vaisseau) qui sont en mouvement et non pas l'objet céleste qui se rapproche. On pourrait objecter que les sons ne se propagent pas dans l'espace et que l'on ne devrait rien entendre, mais il s'agit en fait des sons que l'on entend *de l'intérieur* du vaisseau lorsque les moteurs se mettent en marche. Les astronautes dans l'espace entendent très bien les sons des fusées qui propulsent leur vaisseau, sons transmis par la structure de leur capsule.

Finalement, un changement plus subtil, mais tout aussi important, a été apporté dans la deuxième et troisième partie du scénario. Les mouvements du vaisseau lorsqu'il tourne sur lui-même ou se déplace vers un objet ont tous été ralentis, afin de réduire l'effet de nausée évoqué par plusieurs participants, tout en préservant un rythme de croisière intéressant qui ne vient pas suspendre le sentiment de présence et d'immersion.

4.2.2 L'entrevue de groupe

De façon analogue à la première itération, l'entrevue de groupe se fait tout de suite après la fin de la séance, dans le même théâtre et suivant le même canevas d'entretien. Le chercheur rappelle aux participants qu'ils ne sont pas obligés de répondre aux questions de l'entrevue, que la discussion est enregistrée, de lever la main et s'identifier lorsqu'ils veulent intervenir.

En général, les participants ont apprécié la séance, surtout la navigation dans l'espace. D'ailleurs, ce voyage autour de Jupiter semble avoir encouragé la curiosité de certains.

« Moi j'ai beaucoup aimé le fait qu'on soit allé sur plusieurs planètes à la fois. J'ai trouvé que c'était vraiment le fun de voyager en fusée. C'était beau de voir les lignes⁸ et j'ai aimé qu'on précise la date des moments quand ça va se passer et de voir les lignes pour que ce soit plus clair. »

« Moi j'aurais bien aimé aller sur Saturne pour voir toutes les lunes qu'il y a dessus. »

Parmi les éléments à considérer pour la prochaine itération, environ la moitié des participants rapportent s'être sentis nauséeux lors de certains mouvements du vaisseau.

« J'ai vraiment aimé le fait que comme qu'on voyage, que c'est vraiment genre notre monde comme ça on peut voir tous les détails. Pis le seul truc c'est que des fois ça peut donner mal au cœur. »

⁸ Les orbites des lunes galiléennes.

« J'ai eu mal au cœur parce que ça tournait. J'ai mal au cœur facilement. »

Enfin, lorsque le chercheur a demandé si certains avaient perdu leurs repères dans l'espace, la plupart des témoignages tournaient autour du moment entre Jupiter et Mercure.

« J pense que c'est quand on est allé vers Mercure j pense, ben j voyais plus le Soleil. Je savais que Jupiter était derrière nous, c'est la seule chose que je savais. »

Un autre moment où quelques participants ont eu de la difficulté à s'orienter est lors de l'alunissage menant à la dernière scène.

« C'est quand on a été sur la Lune, comme dans un cratère. Au début je ne comprenais pas trop, mais après j'ai compris. »

À noter qu'il s'agit du seul moment dans la séance où un panorama apparaît.

Dans la prochaine itération, il faudra voir à ralentir les mouvements de rotation du vaisseau afin de réduire le plus possible les inconvénients que pourraient induire ces mouvements. Le plus gros changement cependant devra se faire lorsque l'on quitte Jupiter et ses lunes. La prochaine itération devra fournir aux participants un point de repère visuel entre Jupiter et les planètes Vénus et Mercure.

4.3 Troisième itération

La troisième itération de la séance a eu lieu le 4 novembre 2019 entre 9h00 et 11h00 au Planétarium de Montréal, 4801 avenue Pierre-de Coubertin, à Montréal. Les sujets de cet exercice étaient des élèves de 5^e année.

La structure de cette troisième séance suit la même forme que les précédentes. Le groupe a été accueilli et mené au théâtre de la Voie Lactée du planétarium par le chercheur. Les participants sont placés dans le théâtre pour faire en sorte que, tout au long de la séance, il n'y ait jamais un point d'intérêt placé derrière eux. Contrairement aux deux dernières séances, il n'y a pas de technicien dans le théâtre parce que le système d'enregistrement est maintenant bien maîtrisé.

Le chercheur se présente, démystifie le planétarium et présente la recherche ainsi que ce qu'il attend des participants.

4.3.1 Changement dans le scénario

Les changements reflètent les éléments qui ont été discutés pendant la précédente entrevue de groupe et sont plus subtils qu'après la première itération. Un seul changement a été apporté dans le but de régler le problème de perte de repère surtout lors de la transition entre Jupiter et les phases de Vénus et Mercure.

Pour ce faire, le mouvement de retournement vers Jupiter a été supprimé. Un cercle autour de la planète Vénus a été ajouté lorsque le vaisseau quitte Jupiter, de sorte que les participants ont un point de repère qu'ils peuvent suivre au cours du mouvement dans l'espace. Les mouvements de rotation ont aussi été limités au minimum durant ce transit.

4.3.2 L'entrevue de groupe

Dans le contexte de l'amélioration de la séance, rien de notable n'est ressorti lors de la troisième discussion. Les éléments qui ont été discutés recoupaient ce qui a déjà été traité précédemment, notamment le plaisir des participants à voyager dans l'espace et à se sentir dans un vaisseau spatial. Quelques participants ont évoqué le fait que la présentation ne ressemblait pas, du point de vue esthétique, à d'autres présentations qu'ils avaient déjà vues au planétarium et trouvaient cela dommage. Lors de visites précédentes, ces élèves avaient vu des spectacles destinés aux enfants, plus colorés, ainsi qu'un spectacle à propos de Mars qui détaillait mieux la surface de la planète rouge. Outre ce point, rien ne semblait déplaire ou provoquer une perte de l'attention des participants. En somme, il semble y avoir une saturation des données. Cette dernière itération pourra donc servir pour la validation quantitative. Le tableau 4.1 montre les changements effectués à chaque itération.

Tableau 4.1 Changements effectués à chaque itération

Itération	Changement
1	<ul style="list-style-type: none"> • L'ajout d'une séquence expliquant les éclipses de la Lune et du Soleil • Le retrait de la séquence sur les phases décroissantes de la Lune lors de l'observation géocentrique • L'ajout de bruits de réacteurs lors des déplacements dans l'espace • Ralentissement des mouvements de rotation du vaisseau
2	<ul style="list-style-type: none"> • Refonte de la scène de transition entre Jupiter et Vénus en supprimant un mouvement de rotation et en ajoutant un point de repère prenant la forme d'un cercle autour de Vénus
3	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun

4.4 Validation quantitative

La validation quantitative a été effectuée au cours du mois de décembre 2019 avec des élèves de 6^e année et en utilisant la dernière itération. Le prétest a été effectué le 2 décembre, la visite au planétarium a eu lieu le 9 décembre et le posttest a été fait le 16 décembre. Le chercheur a demandé aux responsables de ces élèves de ne pas faire de retour en classe à propos des phases de la Lune dans la semaine suivant la visite au planétarium afin que les tests reflètent au maximum l'impact de la visite elle-même. Au total, 27 questionnaires pré- et post-test ont été complétés. Le tableau 4.2 présente les statistiques descriptives des deux tests.

Tableau 4.2 Statistiques descriptives des tests

Test	N	Moyenne	Médiane	Écart-type	Variance	Asymétrie	Aplatissement	Min.	Max.
Pré	27	12,33	12	3,742	14	0,203	0,447	5	22
Post	27	18,56	19	3,866	14,949	-0,208	-0,750	11	25

Les données du tableau 4.2 semblent montrer que la distribution est normale pour les deux tests avec des coefficients d'asymétrie et d'aplatissement relativement bas. Les graphiques (figure 4.16 et 4.17) ne sont pas très éloquents à nous indiquer si la distribution est normale et c'est pourquoi un test de normalité Shapiro-Wilk a été effectué.

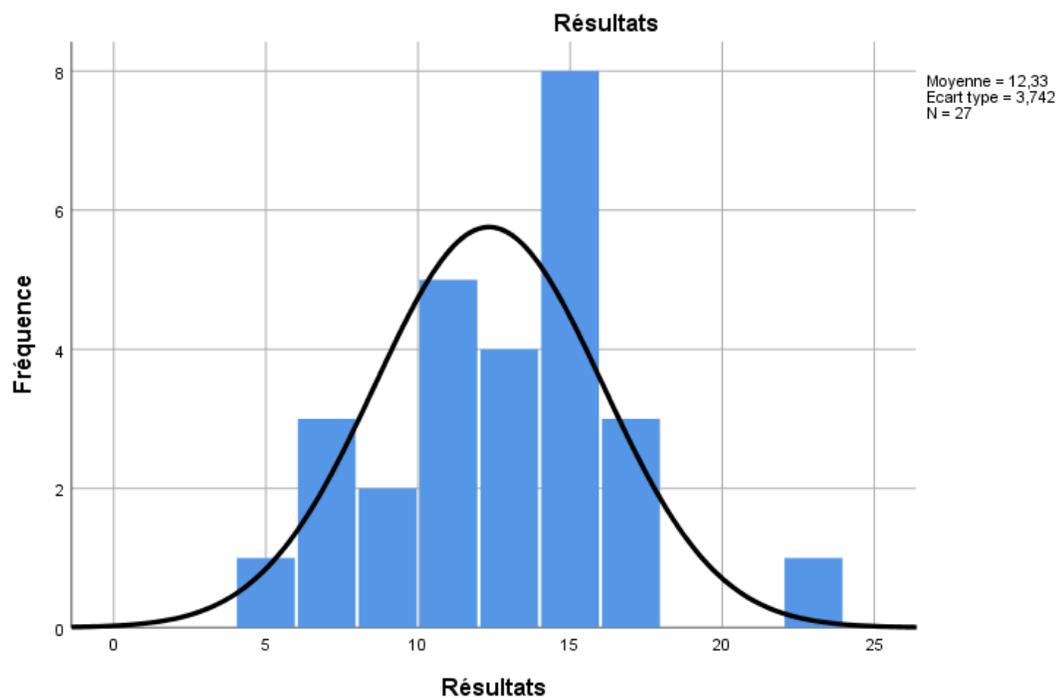


Figure 4.16 Distribution des résultats du prétest

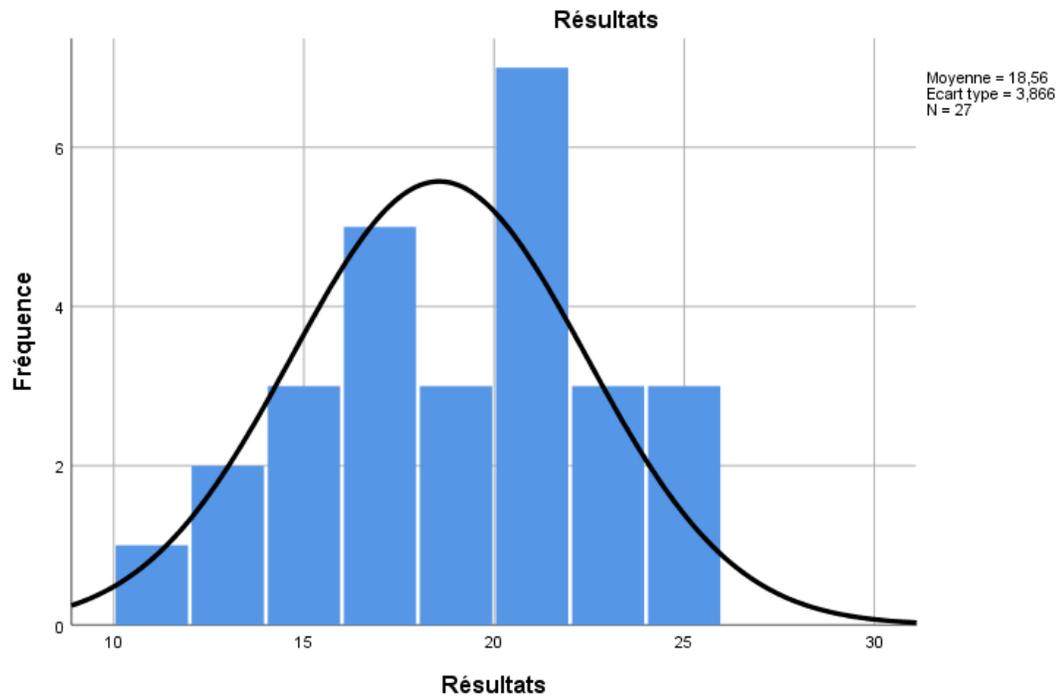


Figure 4.17 Distribution des résultats du posttest

Tableau 4.3 Tests de normalité Shapiro-Wilk

	Statistiques	N	Sigma
Prétest	0,966	27	0,505
Posttest	0,967	27	0,519

Le test Shapiro-Wilk (tableau 4.3) montre que nous avons affaire à une distribution normale. Enfin, les tracés Q-Q (figure 4.18 et 4.19) viennent renforcer l'impression que nous avons affaire à une distribution normale.

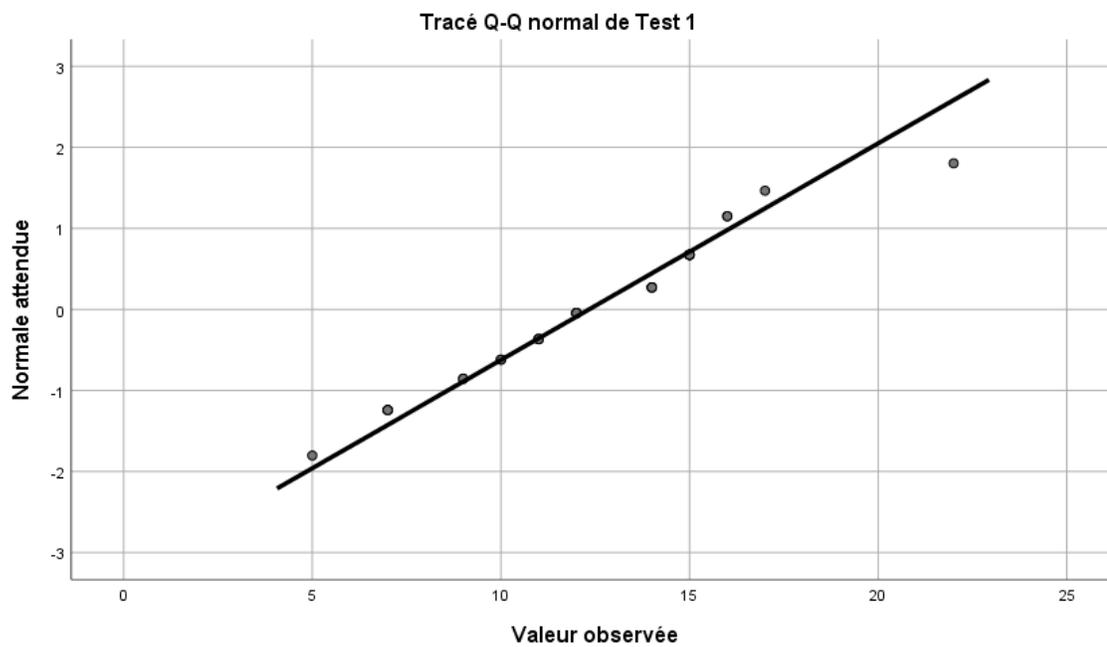


Figure 4.18 Tracé Q-Q normal du prétest

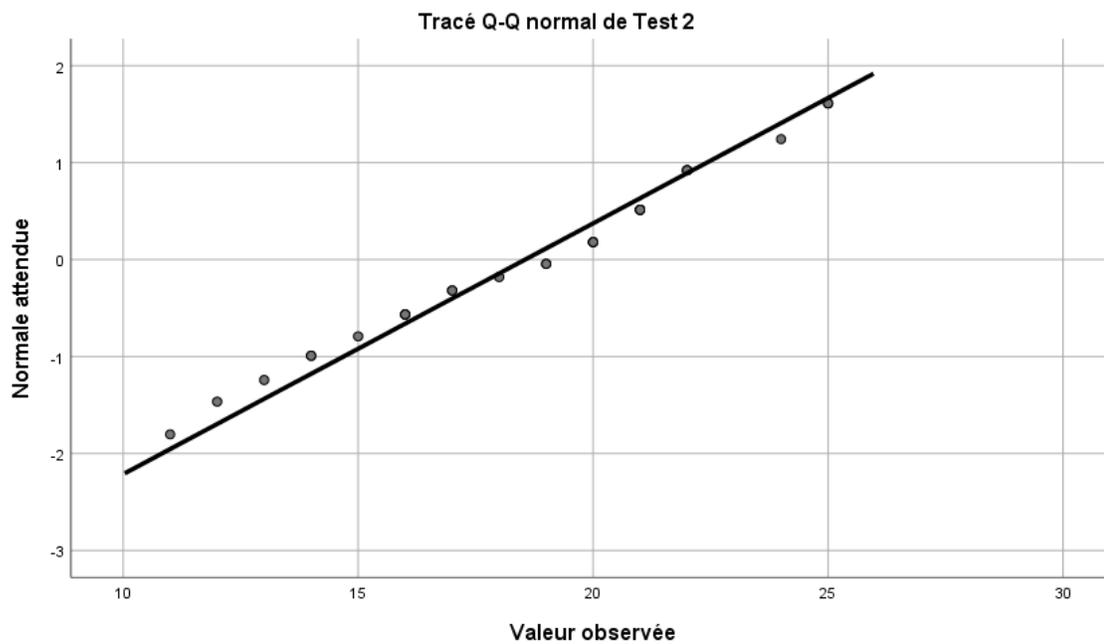


Figure 4.19 Tracé Q-Q normal du posttest

Convaincu que nous avons là une distribution normale, un test t pour échantillons appariés a été effectué.

Tableau 4.4 Test t pour échantillons appariés

	Moyenne	Écart-type	Moyenne erreur standard	t	N	Sigma (bilatéral)
Post-test - prétest	6,222	3,630	0,699	8,906	26	,000

Ce test t nous permet d'évaluer la différence des moyennes entre le post-test et le prétest et donc d'évaluer si les participants ont mieux performé suite à la séance au planétarium. Le tableau 4.4 montre le résultat obtenu suite à ce test et on peut tout de suite constater qu'il y a une différence positive entre la moyenne des deux tests. Ainsi, en moyenne, les participants ont 6,22 points de plus au post-test par rapport au prétest. La dernière colonne du tableau 4.4, le sigma, indique la probabilité que le résultat obtenu soit dû au hasard. Avec une valeur inférieure à 0,0005, on peut affirmer qu'il y a bel et bien un apprentissage mesurable à l'aide d'un questionnaire à propos des phases de la Lune suite à une séance dans un planétarium numérique.

Maintenant que l'on sait que la séance a un effet sur l'apprentissage, nous pouvons calculer la taille d'effet. Cela nous permettra de savoir si la différence est significative ou non. Pour ce faire, deux tailles d'effet ont été calculées, l'Êta-carré et le d de Cohen, afin d'avoir une meilleure idée de la taille d'effet de la séance et aux fins de discussion. Les formules suivantes sont celles utilisées pour ce calcul :

$$\eta^2 = \frac{t^2}{(t^2 + N - 1)}$$

$$d = \frac{\mu_1 - \mu_2}{s}$$

où

η^2 : Êta-carré
 N : nombre de participants
 d : d de Cohen
 μ_1 : moyenne du prétest
 μ_2 : moyenne du post-test
 s : variance

Le tableau 4.5 montre le résultat de ces calculs.

Tableau 4.5 Taille d'effet

Êta carré	D-Cohen
0,75	0,43

Commençons avec l'Êta-carré. Ce calcul de taille d'effet représente la proportion de variance de la variable dépendante expliquée par la variable indépendante. Le résultat peut varier de 0 à 1 et les balises suivantes ont été élaborées par Cohen (1988).

Autour de 0,01	effet de petite taille
Autour de 0,06	effet de taille moyenne
Autour de 0,14 et plus	effet de grande taille

En comparant notre résultat avec ces balises, on pourrait en conclure que notre intervention didactique a une très grande taille d'effet. Toutefois, l'Êta-carré estime uniquement la taille de l'effet dans l'échantillon. Il ne mesure pas la variance de la population et donc, il surestimera toujours la taille de l'effet. C'est pourquoi nous avons aussi calculé le d de Cohen.

Ce calcul d'effet de taille est la différence entre les deux moyennes divisées par la variance. Le résultat nous donne donc la proportion de variabilité des moyennes en fonction de la variance. Si $d = 0.1$, on aura donc une moyenne qui a bougé par un dixième de la variance. Cette façon de calculer la taille d'effet est utile dans les sciences du comportement où les données brutes utilisées perdent leur sens lorsqu'elles sont

sorties de leur contexte (Cohen, 1988). De la même façon qu'avec l'Êta-carré, Cohen (1988) nous procure une échelle pour comparer la taille d'effet.

Autour de 0,20	effet de petite taille
Autour de 0,50	effet de taille moyenne
Autour de 0,80	effet de grande taille

En comparant notre résultat du tableau 4.5 avec cette échelle, nous pouvons en conclure que la taille d'effet est plutôt moyenne.

La méthode de calcul des tailles d'effet nous donne deux résultats différents. D'un côté, l'Êta-carré suggère un très grand effet de taille et de l'autre, le d de Cohen penche plus pour un effet modéré. Cette différence pourrait être attribuable, en partie, au questionnaire employé pour l'étude. C'est un outil très sensible qui a comme conséquence de gonfler la taille d'effet, notamment l'Êta-carré (Chastenay et Riopel, 2020).

Quoi qu'il en soit, il y a vraisemblablement un effet positif et marqué, qu'il soit grand ou moyen, sur l'apprentissage des phases de la Lune suite à une séance allocentrique au planétarium. Cela confirme, à tout le moins, le résultat de recherches antérieures qui considèrent le planétarium comme étant un outil important pour faciliter la compréhension de phénomènes astronomiques par les élèves et dont les enseignants devraient tenir compte lors de l'élaboration de leur cursus (Brazell et Espinoza, 2009; Mikropoulos et Natsis, 2011).

4.5 Interprétations

Que retenons-nous de tout cela ? Suivant l'ordre de progression de la recherche et du chapitre, penchons-nous en premier sur les éléments importants d'une séance dans un planétarium numérique. Rappelons que la recherche vise à élaborer une séance didactique à propos des phases de la Lune destinée à un public de 10-12 ans. Les éléments que nous avons trouvés ne se limitent pas tous à ce barème et devraient être considérés lors de la réalisation d'autres séances, peu importe l'intention, le sujet ou le public cible.

4.5.1 Les éléments importants d'une séance dans un planétarium numérique

Certains de ces éléments ont été découverts au cours de la revue de littérature de cette recherche tandis que d'autres ont été soulevés par les participants lors des différentes entrevues de groupe qui ont suivi les séances. Nous allons tout d'abord présenter ces derniers en détail puis, dans un esprit de synthèse, nous allons énumérer tous les éléments qui ont contribué à la réalisation de l'itération finale de la séance.

Des phases et des éclipses

Cet élément est très spécifique au sujet de la séance, mais il n'en reste pas moins très important à mentionner. Dans le cas précis où l'on explore les phases de la Lune, il est impératif de traiter des éclipses durant la même séance. Ces deux phénomènes sont intrinsèquement liés et, comme il a été démontré au cours des itérations, ils doivent être traités ensemble pour permettre au public de bien comprendre l'entièreté du phénomène. De plus, cela permet de traiter de l'une des conceptions alternatives les plus répandues à propos des phases de la Lune, soit qu'elles sont causées par l'ombre de la Terre projetée sur la Lune. En somme, peu importe le sujet, il est important de le présenter dans son entièreté ainsi que les phénomènes connexes.

Bande sonore

Alors que les recherches précédentes n'ont pas démontré l'importance d'une bande sonore et musicale (Brunello (1992); Wooten (1979)), nous avons remarqué, au contraire, qu'il y a une importance fondamentale à avoir des sons et des bruits dans le contexte d'une navigation dans l'espace. Ces sons devraient signaler aux spectateurs que le vaisseau-théâtre dans lequel ils se trouvent se déplace vers un objet et non pas l'inverse.

Mouvements

Continuant avec le thème de la navigation spatiale, les mouvements provoquant le plus d'inconfort sont ceux où le vaisseau tourne sur lui-même. La recommandation issue du discours des élèves n'est pas d'éliminer totalement ces mouvements, mais plutôt de les ralentir et de favoriser les mouvements rectilignes. Dans le cas où il y a un mouvement rotatif, il est important d'avoir, dans le champ de vision, un point de repère pour que les spectateurs sachent toujours d'où l'on vient ou vers où l'on se dirige. Ce point de repère doit être évident, suffisamment gros et reconnaissable. Cela diminue grandement la chance que les participants perdent leurs points de repère et se sentent nauséeux.

Panorama

L'utilisation de panoramas lorsque le vaisseau-théâtre se pose contribue à la compréhension des déplacements de la part des spectateurs. Cet élément visuel donne un repère à savoir où le vaisseau se situe et quand son déplacement se termine. Il ajoute aussi à l'immersion et au sentiment de présence, deux principes importants des planétariums et qui ont été très appréciés par les participants.

En somme, une séance allocentrique dans un planétarium numérique visant l'apprentissage des phases de la Lune et destinée à un public de 3^e cycle du primaire (10-12 ans) devrait inclure, en plus des éléments discutés dans la sous-section 1.3.3, les éléments suivants :

- Créer une insatisfaction chez les participants en évoquant directement leurs conceptions alternatives.
- Suite à cette insatisfaction, présenter un modèle qui est intelligible et qui semble plausible pour les participants.
- La présentation devra faire appel principalement à la navigation dans l'espace et mettre de l'avant le changement de perspective. Cela contribuera à la pleine compréhension du phénomène.
- La séance devra présenter l'étendue du modèle proposé ainsi que ses phénomènes connexes (ex : phases de Vénus, éclipses, phases des lunes galiléennes, etc.) afin de bien montrer l'aspect fructueux du nouveau modèle.
- L'utilisation de bruits de réacteurs lors des mouvements dans l'espace.
- Minimiser les mouvements de rotation sur soi-même dans l'espace.
- Un point d'intérêt du voyage situé dans l'espace dans le champ de vision en tout temps, et bien identifié.
- L'utilisation de panorama lorsque l'on se pose sur des astres.

À ce point-ci, il est bien de noter que certains de ces éléments sont exclusifs aux planétariums numériques notamment le changement de perspective. Dans un planétarium traditionnel, il n'est pas possible de changer la perspective des visiteurs. Ceux-ci seront toujours sujets au même point de vue géocentrique. Cette incapacité de changer de position influence aussi ce qu'il est possible de montrer lorsque l'on veut présenter l'étendue du modèle proposé et les phénomènes connexes. Évidemment, dans de telles conditions, il serait aussi impossible de présenter le nouveau modèle en

naviguant dans l'espace. En somme, les capacités limitées des planétariums traditionnels nous empêcheraient d'exploiter pleinement le potentiel des éléments présentés dans ce chapitre.

4.5.2 L'effet planétarium

Comme mentionné plus tôt dans le chapitre, les mesures obtenues à l'aide du questionnaire viennent confirmer l'utilité des planétariums dans l'apprentissage de phénomènes astronomiques tel qu'observé par Brazell et Espinoza (2009), Chastenay (2015) et Mikropoulos et Natsis (2011). On peut en conclure que la séance à propos des phases de la Lune a eu un effet positif sur l'apprentissage de ce phénomène auprès des 27 participants.

La taille de l'échantillon (27) reste néanmoins très petite. Il serait intéressant de valider nos conclusions avec un échantillon plus important. Dans le même ordre d'idée, travailler avec un groupe d'âge différent pourrait aussi être intéressant dans cette validation. L'exploration des phases de la Lune fait aussi partie du programme de secondaire 1. Nous pourrions donc comparer les résultats entre ces deux groupes et vérifier s'il y a un avantage significatif à visiter le planétarium plus tôt.

Il se pourrait que l'effet qu'a le planétarium soit plus limité dans le temps. Rappelons que les participants ont refait le test une semaine après le visionnement de la séance au planétarium. Il serait intéressant de vérifier la pérennité de cet apprentissage et de refaire le test après 3, 6 et 12 mois.

Maintenant que nous avons en main une séance allocentrique à propos des phases de la Lune, nous pourrions comparer son effet sur l'apprentissage avec d'autres interventions. Est-ce qu'un cahier d'observation des phases donne de meilleurs résultats sur la compréhension du phénomène que cette séance ? Quelle est la différence

d'effet sur l'apprentissage entre un enseignement utilisant des livres et des représentations bidimensionnelles par rapport à une visite au planétarium ?

Enfin, cette séance avait comme sujet les phases de la Lune. Nous avons présenté, à la section 1.4, les raisons qui nous ont menées à viser ce sujet pour ce type de recherche. Toutefois, peut-être existe-t-il un autre sujet (saisons, comètes, exoplanètes, etc.) qui pourrait faire ressortir de nouveaux éléments importants (scénarios, mise en scène, bande sonore, etc.). Une séance se basant sur les conclusions ce travail, mais utilisant un sujet différent, pourrait à la fois confirmer nos conclusions et découvrir de nouveaux éléments.

CONCLUSION

« Now this is not the end. It is not even the beginning of the end. But it is, perhaps, the end of the beginning... »
Winston Churchill (1874-1965)

Cette recherche avait pour but d'explorer le nouvel outil didactique que sont les planétariums numériques. Pour y arriver, nous avons réalisé une séance allocentrique à propos des phases de la Lune en utilisant la recherche de développement. L'objectif était de déterminer quels éléments (scénarios, mise en scène, bande sonore, etc.) d'une séance allocentrique dans un planétarium numérique sont importants pour les participants. De plus, nous voulions connaître l'effet qu'a une telle séance sur l'apprentissage du phénomène des phases de la Lune.

Les buts de la recherche ont été atteints avec succès. Une recherche de développement a été utilisée pour développer la séance et trois itérations ont été nécessaires pour atteindre une saturation des données. Ces données nous ont permis de bonifier la séance et d'identifier de nouveaux éléments à tenir en compte lors de la conception de séances allocentriques dans les planétariums numériques. À l'aide d'un questionnaire, nous avons évalué l'impact qu'a une telle séance sur l'apprentissage des phases de la Lune auprès d'un public de 3^e cycle du primaire (élèves de 10-12 ans). Les résultats montrent une progression significative de la compréhension du phénomène par les participants suite à la séance.

Ceci étant dit, cette recherche est exploratoire et a été réalisée avec un nombre restreint de participants, d'un groupe d'âge spécifique et avec un thème précis. Une séance

allocentrique portant sur un sujet différent, destinée à un autre groupe d'âge, pourrait faire émerger de nouveaux éléments importants. De même, l'effet qu'a eu la séance sur le niveau de connaissance des participants pourrait être le résultat d'un parcours scolaire n'ayant pas favorisé ce type d'apprentissage. Un autre type d'intervention pourrait avoir un effet similaire.

À la lumière de cette recherche, le planétarium nous apparaît un outil didactique performant et important dans le domaine de l'astronomie. Dans le but d'améliorer l'expérience des participants, les réalisateurs et les concepteurs devraient tenir compte des éléments qui ont été identifiés lors de cette recherche.

Une recherche utilisant un autre groupe d'âge avec un autre sujet pourrait être intéressante afin de vérifier si d'autres composantes allocentriques sont importantes pour les spectateurs. De plus, comparer une telle séance avec d'autres types d'interventions pour pouvoir connaître lesquels sont les plus efficaces serait aussi une recherche à envisager. Enfin, réutiliser la séance et le questionnaire avec un plus grand nombre de participants serait intéressant afin de valider nos résultats.

ANNEXE A

CANEVAS D'ENTRETIEN

1. Est-ce que vous avez aimé ça ?
Éléments amusants, mémorables, « trippants ».
2. Qu'est-ce que vous n'avez pas aimé ?
Éléments inintéressants ou difficiles à comprendre.
Mouvement incompréhensible ou qui donne mal au cœur.
Éléments qui manquent.
3. Pouvez-vous m'expliquer les phases de la Lune ?
Vérifier si certains éléments de la séance ont mélangé ou aidé les spectateurs.
4. Est-ce que d'aller voir d'autres astres dans le système solaire vous a aidé à mieux comprendre les phases de la Lune ?
Vérifier si le voyage vers plusieurs astres (Jupiter, Mercure et Vénus, la Lune) a été apprécié, dérangent ou mélangeant.
5. Est-ce qu'à certains moments donnés vous vous sentiez perdus ou vous saviez toujours où on était ?
Vérifier si les mouvements du vaisseau étaient suffisamment clairs pour que des enfants du 3^e cycle soient capables de s'y retrouver dans un espace tridimensionnel.

ANNEXE B

QUESTIONNAIRE À PROPOS DES PHASES DE LA LUNE

Que sais-tu à propos des phases de la Lune ?

Chère élève, Cher élève,

Ce document contient une série de questions qui visent à découvrir ce que tu sais à propos des phases de la Lune. Il ne s'agit ni d'un test, ni d'un examen et les résultats n'apparaîtront pas sur ton bulletin scolaire. D'ailleurs, puisque tu n'as pas à écrire ton nom sur ce questionnaire, il sera impossible de t'identifier à partir de tes réponses aux questions.

Il se peut que tu ne saches pas quoi répondre à certaines questions, mais ne t'en fais pas ! Nous t'invitons simplement à répondre au meilleur de tes connaissances. Pour ce faire, prends le temps de bien lire chacune des questions avant de répondre et choisis la réponse qui te semble la meilleure. S'il-te-plaît, réponds à toutes les questions.

Merci beaucoup de ta participation !

Pierre Chastenay et Martin Riopel
Université du Québec à Montréal

S'il-te-plaît, prends quelques instants pour répondre aux questions ci-dessous :

Quel âge as-tu ? _____

Tu es... (encercle ta réponse) Une fille Un garçon

À quel niveau scolaire étudies-tu ? _____

Quel est le nom de ton école ? _____

Quel est le nom de ton enseignant/e ? _____

Inscris la date d'aujourd'hui _____

1. À l'aide d'un trait, relie chacune des photos de phases de la Lune (à gauche) avec le nom de la phase correspondante (à droite).



- Premier quartier



- Lune gibbeuse décroissante



- Nouvelle lune



- Lune décroissante ou dernier croissant



- Lune gibbeuse croissante



- Lune croissante ou premier croissant



- Dernier quartier



- Pleine lune

2. Lis chaque énoncé ci-dessous et indique s'il est vrai ou faux, selon toi. Pour répondre, encercle la réponse de ton choix au bout de chaque phrase.

	Ta réponse...	
On peut voir la Lune dans le ciel l'avant-midi.	Vrai	Faux
On peut voir la Lune dans le ciel à midi.	Vrai	Faux
On peut voir la Lune dans le ciel l'après-midi.	Vrai	Faux
On peut voir la Lune dans le ciel le soir.	Vrai	Faux
On peut voir la Lune dans le ciel la nuit.	Vrai	Faux

3. Pour un travail scolaire, Yasmina a observé le lever de la Lune pendant deux jours de suite. Le premier jour, elle a vu la Lune se lever vers 19 h. À quelle heure penses-tu qu'elle a vu la Lune se lever le deuxième jour ? Encercle la lettre ci-dessous correspondant à la réponse de ton choix.

Je pense que le deuxième jour, Yasmina a vu la Lune se lever...

- A. À la même heure environ.
- B. Environ une heure plus tard, vers 20 h.
- C. Environ une heure plus tôt, vers 18 h.
- D. Plusieurs heures plus tard.
- E. Plusieurs heures plus tôt.
- F. Je pense qu'il est impossible de le savoir, les heures de lever de la Lune sont imprévisibles.

4. **Marielle raconte à ses amis qu'elle a vu un mince croissant de lune dans le ciel du soir il y a environ une semaine. Elle se demande de quoi la Lune aura l'air aujourd'hui, c'est-à-dire une semaine plus tard. Voici ce que ses amis lui ont répondu. Encerle ci-dessous le nom de l'ami de Marielle avec qui tu es le plus d'accord :**



Alain : Je pense que la Lune sera un croissant, mais plus mince que ce que Marielle a vu.

Béatrice : Je pense que la Lune sera un croissant, mais plus épais que ce que Marielle a vu.

Claudie : Je pense que la Lune sera une demie lune.

David : Je pense que la Lune sera toute ronde.

Elena : Je pense qu'il est impossible de le savoir, les phases de la Lune changent de manière imprévisible.

5. **Ce soir, tu observes la Lune et tu constates qu'elle est toute ronde, comme sur la photo ci-dessous. Selon toi, combien de temps devras-tu attendre avant de voir à nouveau la Lune toute ronde dans le ciel ? Encerle la lettre ci-dessous correspondant à la réponse de ton choix.**

Avant de revoir la Lune toute ronde, je pense que je devrai attendre...

- A. Environ une semaine.
- B. Environ un mois.
- C. Environ un an.
- D. Je pense qu'il est impossible de le savoir, l'apparence de la Lune change de manière imprévisible.



6. Imagine que tu es un géant de l'espace capable de prendre la Lune entre tes mains. Quelle forme aurait-elle entre tes mains ? Choisis parmi les objets ci-dessous celui qui représente le mieux la forme de la Lune. Encerle la lettre correspondant à la réponse de ton choix.



A. Lune est ronde et plate comme une assiette.



B. La Lune est ronde et sphérique comme un ballon.



C. La Lune a la forme d'un croissant.

7. Des amis observent la Lune, qui a l'apparence d'un mince croissant, comme sur la photo ci-contre. Ils se demandent pourquoi la Lune a cette apparence particulière. Voici ce qu'ils ont dit. Encerle ci-dessous le nom de l'ami avec qui tu es le plus d'accord.



Abdel : Je pense que c'est parce que le reste de la Lune est caché par l'ombre de la Terre ou l'ombre d'une autre planète.

Bérénice : Je pense que c'est parce que des nuages ou des planètes passent devant la Lune.

Caroline : Je pense que c'est parce que la distance entre la Terre et la Lune a changé.

Daniel : Je pense que c'est parce que la rotation de la Terre nous empêche de voir plus de parties de la Lune.

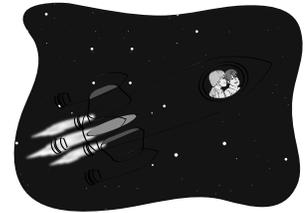
Émilie : Je pense que c'est parce que la Lune a une moitié blanche et une moitié noire et qu'elle tourne sur elle-même.

François : Je pense que c'est parce qu'on ne voit qu'une petite partie de la moitié de la Lune éclairée par le Soleil.

8. Sur la photo ci-contre, une partie de la Lune est éclairée et une autre est sombre. Imagine que tu peux aller dans l'espace et faire le tour de la Lune à bord d'une fusée. Quelle fraction de l'ensemble de la surface lunaire serait éclairée ? Encerle la lettre ci-dessous correspondant à la réponse de ton choix.



- A. Un quart de la surface de la Lune serait éclairé.
 B. La moitié de la surface de la Lune serait éclairée.
 C. Les trois-quarts de la surface de la Lune seraient éclairés.
 D. Toute la surface de la Lune serait éclairée.



9. Selon toi, qu'est-ce qui fait que nous pouvons voir la Lune dans le ciel ? Encerle la lettre ci-dessous correspondant à la réponse de ton choix.

Je pense que nous voyons la Lune dans le ciel parce que...

- A. Elle brille comme une étoile.
 B. Elle brille comme le Soleil.
 C. Elle est tellement chaude qu'elle brille.
 D. Elle reflète la lumière provenant de la Terre.
 E. Elle reflète la lumière provenant du Soleil.
 F. Elle reflète la lumière provenant des étoiles.
 G. Elle brille comme une ampoule électrique.



10. Selon toi, est-ce que la Lune tourne autour d'un autre astre (par exemple, une planète, une étoile, ou un autre objet) ? Si oui, autour de quel astre tourne-t-elle ? Encerle la lettre ci-dessous correspondant à la réponse de ton choix.

- A. Non, la Lune ne tourne pas autour d'un autre astre.
 B. Oui, la Lune tourne autour de la Terre.
 C. Oui, la Lune tourne autour du Soleil.
 D. Oui, la Lune tourne parfois autour de la Terre et parfois autour du Soleil.
 E. Oui, la Lune tourne autour d'une autre planète.
 F. Oui, la Lune tourne autour d'une autre étoile.
 G. Oui, la Lune tourne autour d'un autre astre, mais je ne sais pas lequel.

- 11. Si la Lune tourne autour d'un autre astre, combien de temps prend-t-elle selon toi pour faire un tour complet autour de cet astre ? Encerle la lettre ci-dessous correspondant à la réponse de ton choix.**

Je pense que la Lune fait un tour autour d'un autre astre en...

- A. Environ un jour.
- B. Environ une semaine.
- C. Environ un mois.
- D. Environ une année.
- E. La Lune ne tourne pas autour d'un autre astre.

- 12. Deux amis collectionnent les petites voitures, qui sont des modèles réduits de vraies voitures. À l'école, ils veulent construire un modèle réduit de la Terre, de la Lune et du Soleil. Dans leur modèle, la Terre est réduite à la taille d'un ballon de basketball. Quelle sera alors la taille réduite de la Lune et du Soleil ? Encerle les réponses ci-dessous qui décrivent le mieux selon toi la taille de la Lune et du Soleil dans le modèle réduit des deux amis.**



Dans leur modèle réduit, la Lune aurait la taille...

- A. D'un grain de sable.
- B. D'une bille.
- C. D'une balle de tennis.
- D. D'un autre ballon de basketball.
- E. D'un gros ballon de plage.
- F. D'une montgolfière.

Dans leur modèle réduit, le Soleil aurait la taille...

- A. D'un grain de sable.
- B. D'une bille.
- C. D'une balle de tennis.
- D. D'un autre ballon de basketball.
- E. D'un gros ballon de plage.
- F. D'une montgolfière.

13. Geneviève a quatre cartes représentant un nuage, l'étoile Polaire, le Soleil et la Lune. Elle doit placer ces quatre objets du plus proche au plus éloigné de la Terre. Elle sait que le nuage est le plus proche de la Terre, mais elle n'est pas certaine de l'ordre des trois autres. Selon toi, laquelle des listes ci-dessous place ces quatre objets dans l'ordre du plus proche au plus éloigné de la Terre ? Encercle la réponse ci-dessous qui te semble être la meilleure.

Plus proche → → → Plus éloigné
de la Terre de la Terre

- A. Nuage → Étoile Polaire → Soleil → Lune
 B. Nuage → Étoile Polaire → Lune → Soleil
 C. Nuage → Soleil → Étoile Polaire → Lune
 D. Nuage → Soleil → Lune → Étoile Polaire
 E. Nuage → Lune → Soleil → Étoile Polaire
 F. Nuage → Lune → Étoile Polaire → Soleil



14. En consultant le calendrier de la classe, qui montre les phases de la Lune à chaque mois, Nora constate que la Lune ne sera pas visible dans le ciel aujourd'hui, ni cette nuit. Comment appelle-t-on la phase de la Lune que l'on ne peut pas voir de la Terre ? Encercle la réponse ci-dessous qui te semble être la meilleure.

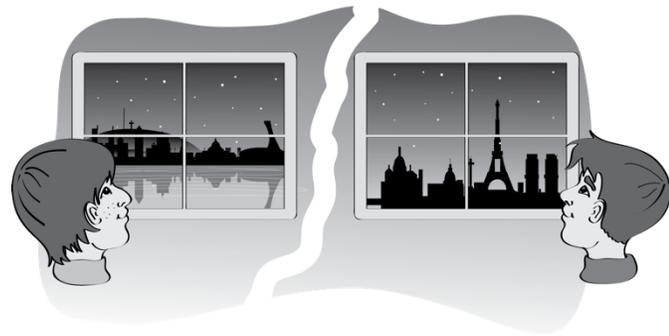
- A. La nouvelle lune.
 B. Le premier quartier.
 C. La pleine lune.
 D. Le dernier quartier.
 E. Il est impossible de le savoir.



- 15. Jonathan demeure à Montréal, tandis que son cousin Brice vit à Paris, en France. Un jour, Jonathan voit la Lune et constate qu'elle est un premier quartier. Si son cousin Brice observe la Lune à Paris le même jour que Jonathan, quelle phase de la Lune verra-t-il de chez lui ? Encerle la réponse ci-dessous qui décrit le mieux ce que tu penses.**

Je pense qu'à Paris, Brice verra...

- A. Une nouvelle lune.
- B. Un premier quartier.
- C. Une pleine lune.
- D. Un dernier quartier.
- E. Il est impossible de le savoir, les phases de la Lune changent de manière imprévisible d'un pays à l'autre.



- 16. Deux élèves écrivent une histoire qui se déroule sur la Lune. Dans leur histoire, un astronaute observe un croissant de terre dans le ciel de la Lune. Mais les deux élèves ne sont pas d'accord à propos de cette scène. Voici ce qu'ils ont dit. Encerle ci-dessous le nom de l'ami avec lequel tu es le plus d'accord.**



- Aude : Je pense qu'il est possible de voir un croissant de terre lorsqu'on se trouve sur la Lune. C'est comme être sur la Terre et voir des phases de la Lune.
- Benoît : Je ne pense pas que l'on voit des phases de la Terre lorsqu'on se trouve sur la Lune. Je pense que la Terre est toujours toute ronde dans le ciel de la Lune.

17. Un soir, Jasmine observe le ciel et constate que la Lune apparaît à mi-chemin entre sa maison et le grand sapin dans la cour. Le lendemain soir à la même heure, Jasmine retourne exactement au même endroit pour observer à nouveau le ciel. Où penses-tu que la Lune sera située par rapport à la maison et au sapin ? Encerle la réponse ci-dessous qui correspond le mieux à ce que tu penses.



Le lendemain soir à la même heure, je pense que la Lune sera située...

- A. Au même endroit que la veille, à mi-chemin entre la maison et le sapin.
- B. Un peu plus près de la maison, vers la gauche.
- C. Un peu plus près du sapin, vers la droite.
- D. Ailleurs dans le ciel, car elle ne sera pas visible entre la maison et le sapin.
- E. Je pense qu'il est impossible de savoir où sera la Lune, les mouvements de la Lune sont imprévisibles.

18. Hier en fin de journée, Thomas a aperçu la Lune dans le ciel. Elle était située un peu à gauche du Soleil. Où penses-tu que la Lune se situera par rapport au Soleil le lendemain soir à la même heure ? Encerle la réponse ci-dessous qui te semble la meilleure.

Le lendemain soir à la même heure, je pense que la Lune sera située...

- A. À la même distance du Soleil que la veille.
- B. Plus proche du Soleil que la veille.
- C. Plus loin du Soleil que la veille.
- D. Je pense qu'il est impossible de savoir où sera la Lune, ses mouvements sont imprévisibles.

**Voilà, tu as terminé.
Merci beaucoup de ta participation !**

ANNEXE C

LETTRE AUX PARENTS

Montréal, [date du jour]

Objet : Participation de votre enfant à une recherche scientifique.

Cher parent,

Votre enfant participera bientôt à une sortie éducative au Planétarium Rio Tinto Alcan, où il prendra part à une étude scientifique visant à développer et évaluer une séance de planétarium à propos des phases de la Lune. Au cours de la séance, la classe de votre enfant sera invitée à partager ses impressions et ses observations quant au contenu et à la forme de cette présentation. La séance, d'une durée d'environ 60 minutes, sera animée par M. Simon A. Bélanger, étudiant à la maîtrise en didactique à l'UQAM, mais les élèves demeureront sous la supervision constante de leur enseignant/e. À intervalle régulier durant la séance, Simon posera des questions aux élèves pour recueillir leurs impressions à propos de ce qu'ils auront vu. Ces discussions seront enregistrées (audio seulement). Seuls les élèves qui voudront partager leurs impressions le feront, la participation à la discussion étant libre et facultative.

Il n'existe à notre connaissance aucun risque lié au fait de participer à cette étude; la participation de votre enfant nous permettra d'améliorer la séance de planétarium, qui deviendra un outil indispensable pour mener à bien divers projets de recherche en didactique de l'astronomie. C'est pourquoi nous espérons que vous nous donnerez votre accord en remplissant et signant **une copie** du formulaire de consentement joint à la présente lettre et en la retournant promptement à l'enseignant/e de votre enfant (l'autre copie est pour vous). En cas de refus de votre part, votre enfant participera tout de même à la sortie au planétarium et assistera à la séance, mais il ne participera pas aux discussions avec l'animateur.

En terminant, je vous invite à communiquer avec moi aux coordonnées apparaissant en bas de page pour toute question ou interrogation à propos de ce projet de recherche.

Je vous prie de croire, cher parent, en l'assurance de mes salutations distinguées.

Pierre Chastenay, Ph. D.
Astronome et professeur de didactique des sciences
Département de didactique
Faculté des sciences de l'éducation
Université du Québec à Montréal

ANNEXE D

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

Titre du projet de recherche :	Séance à propos des phases de la Lune dans un planétarium numérique.
Chercheur responsable du projet de recherche :	Pierre Chastenay, Ph. D., professeur au Département de didactique, Faculté des sciences de l'éducation de l'Université du Québec à Montréal.
Organisme subventionnaire :	Fonds de recherche du Québec - Société et Culture (FRQSC).

1. Introduction

Nous invitons votre enfant à participer à un projet de recherche. Cependant, avant d'accepter qu'il participe à ce projet et de signer ce formulaire d'information et de consentement à titre de représentant légal de votre enfant, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable de ce projet ou à un membre de son personnel de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

2. Nature et objectifs du projet de recherche

Ce projet de recherche vise à développer et à évaluer une séance de planétarium à propos des phases de la Lune. Une fois validé, la version finale de cette séance servira dans des projets de recherche visant à améliorer l'enseignement de l'astronomie dans les planétariums. Pour la réalisation de ce projet de recherche, nous comptons recruter

environ 100 élèves de la 5^e et de la 6^e année primaire.

La direction de l'école de votre enfant, son enseignant, de même que les responsables du Planétarium Rio Tinto Alcan, où aura lieu l'étude, ont déjà donné leur accord à ce projet.

3. Déroulement du projet de recherche

Votre enfant sera invité à participer à une discussion à propos d'une séance de planétarium à laquelle il assistera en tant que spectateur. L'animateur de la séance, monsieur Simon A. Bélanger, étudiant à la maîtrise à l'UQAM, interrogera les élèves à intervalle régulier durant la séance pour recueillir leurs impressions et leurs commentaires à propos de ce qu'ils auront vu. Les propos des enfants seront enregistrés sur bande audio seulement afin d'en faire l'analyse ultérieurement. La durée de la participation de votre enfant sera d'environ 60 minutes.

4. Avantages associés au projet de recherche

Il se peut que votre enfant retire un bénéfice personnel de sa participation à ce projet de recherche, mais nous ne pouvons vous l'assurer. Par ailleurs, les résultats obtenus contribueront à l'avancement des connaissances scientifiques dans ce domaine de recherche.

5. Inconvénients associés au projet de recherche

Le seul inconvénient associé à la participation de votre enfant à ce projet de recherche sera le temps.

6. Participation volontaire et possibilité de retrait

La participation de votre enfant à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser qu'il y participe. Vous pouvez également le retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision au chercheur responsable de ce projet ou à l'un des membres de son personnel de recherche.

Le chercheur responsable de ce projet, le Comité central d'éthique de la recherche du ministre de la Santé et des Services sociaux ou l'organisme subventionnaire peuvent mettre fin à sa participation, sans votre consentement, s'il existe des raisons administratives d'abandonner le projet.

Si vous le retirez du projet ou s'il est retiré du projet, l'information déjà obtenue dans

le cadre de ce projet sera conservée aussi longtemps que nécessaire pour se conformer aux exigences réglementaires.

7. Confidentialité

Durant la participation de votre enfant à ce projet de recherche, le chercheur responsable de ce projet ainsi que les membres de son personnel de recherche recueilleront, dans un dossier de recherche, les renseignements le concernant. Seuls les renseignements nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques de ce projet seront recueillis.

Ces renseignements comprendront les informations concernant ses réponses aux activités qui seront réalisées. Son dossier peut aussi comprendre d'autres renseignements tels que son degré scolaire et le nom son école. Les renseignements recueillis seront conservés pendant 2 ans après la fin du projet par le chercheur responsable de ce projet de recherche et seront détruits par la suite.

Tous les renseignements recueillis demeureront confidentiels dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver son identité et la confidentialité de ces renseignements, il ne sera identifié que par un numéro de code. La clé du code reliant son nom à son dossier de recherche sera conservée par le chercheur responsable de ce projet de recherche, dans son ordinateur muni d'un mot de passe secret et dans son bureau verrouillé à clé.

Les renseignements recueillis, à titre de données de recherche, seront utilisés par le chercheur responsable de ce projet dans le but de répondre aux objectifs scientifiques du projet décrits dans le formulaire d'information et de consentement.

Les données de recherche pourront être publiées dans des revues spécialisées ou faire l'objet de discussions scientifiques, mais il ne sera pas possible d'identifier votre enfant. Également, les données de recherche pourraient servir pour d'autres analyses de données reliées au projet ou pour l'élaboration de projets de recherches futurs.

À des fins de surveillance et de contrôle, le dossier de recherche de votre enfant pourra être consulté par une personne mandatée par le Comité central d'éthique de la recherche du ministre de la Santé et des Services sociaux ou par une personne mandatée par des organismes publics autorisés. Toutes ces personnes et ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

Vous avez le droit de consulter le dossier de recherche de votre enfant pour vérifier les renseignements recueillis et les faire rectifier au besoin, et ce, aussi longtemps que le chercheur responsable de ce projet de recherche détient ces informations.

8. Financement du projet de recherche

Le chercheur responsable de ce projet de recherche a reçu un financement de l'organisme subventionnaire pour mener à bien ce projet de recherche.

9. En cas de préjudice

En acceptant qu'il participe à ce projet de recherche, vous ne renoncez à aucun de ses droits ni ne libérez le chercheur responsable de ce projet de recherche, l'organisme subventionnaire et l'université de leur responsabilité civile et professionnelle.

10. Identification des personnes-ressources

Si vous avez des questions concernant le projet de recherche ou si vous éprouvez un problème que vous croyez relié à la participation de votre enfant au projet de recherche, vous pouvez communiquer avec le chercheur responsable de ce projet de recherche, Pierre Chastenay, au (514) 987-3000 poste 6441 ou par courriel chastenay.pierre@uqam.ca

Pour toute question concernant vos droits en tant que participant ou parent de participant à ce projet de recherche ou si vous avez des plaintes à formuler, vous pouvez communiquer avec le bureau de l'ombudsman de l'UQAM (Courriel: ombudsman@uqam.ca; téléphone: (514) 987-3151).

11. Surveillance des aspects éthiques du projet de recherche

Le Comité central d'éthique de la recherche du ministre de la Santé et des Services sociaux a approuvé ce projet de recherche et en assure le suivi. De plus, il approuvera au préalable toute révision et toute modification apportée au protocole de recherche et au formulaire d'information et de consentement. Pour toute information, vous pouvez communiquer avec Madame Johane de Champlain, vice-présidente, au (514) 873-2114.

Consentement

Titre du projet de recherche : Séance à propos des phases de la Lune dans un planétarium numérique.

1. Consentement du représentant légal

En ma qualité de représentant légal, j'ai pris connaissance du formulaire d'information et de consentement. Je reconnais qu'on m'a expliqué le projet, qu'on a répondu à mes questions et qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre une décision. Après réflexion, je consens à ce que mon enfant participe à ce projet de recherche aux conditions qui y sont énoncées.

Nom de l'enfant mineur

Assentiment écrit de l'enfant capable de comprendre la nature du projet

Signature du représentant légal à savoir soit le parent soit le tuteur.

Date

2. Signature et engagement du chercheur responsable de ce projet de recherche

Je certifie qu'on a expliqué au représentant légal du participant les termes du présent formulaire d'information et de consentement, que l'on a répondu aux questions qu'il avait à cet égard et qu'on lui a clairement indiqué qu'il demeure libre de mettre un terme à la participation de son enfant, et ce, sans préjudice.

Je certifie que l'on a expliqué au participant dans un langage adapté à son discernement le projet de recherche, qu'il a compris et qu'il ne s'est pas opposé. Je m'engage à respecter tout refus.

Je m'engage, avec l'équipe de recherche, à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement et à en remettre une copie signée et datée au représentant légal de l'enfant.

[date du jour]

Signature du chercheur responsable du projet de recherche

Date

BIBLIOGRAPHIE

- Ampartzaki, M. et Kalogiannakis, M. (2015). Astronomy in Early Childhood Education: A Concept-Based Approach. *Early Childhood Education Journal*, 44(2), 169-179. doi: 10.1007/s10643-015-0706-5
- Bailey, J. M. et Slater, T. F. (2003). A review of astronomy education research. *Astronomy Education Review*, 2(2), 20-45.
- Bakas, C. et Mikropoulos, T. (2003). Design of virtual environments for the comprehension of planetary phenomena based on students' ideas. *International journal of science education*, 25(8), 949-967.
- Barnett, M. et Morran, J. (2002, 2002). Addressing Children's Alternative Frameworks of the Moon's Phases and Eclipses. *International Journal of Science Education*, 24(8), 859-879.
- Beare, R. (2007, 2007/02/26). Investigation into the Potential of Investigative Projects Involving Powerful Robotic Telescopes to Inspire Interest in Science. *International Journal of Science Education*, 29(3), 279-306. doi: 10.1080/09500690600620938
- Bell, R. L. et Trundle, K. C. (2008). The Use of a Computer Simulation to Promote Scientific Conceptions of Moon Phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(3), 346-372. doi: 10.1002/tea.20227
- Bergeron, C. (2013). Interviewé par. Bizz ! Science et technologie : cahier d'apprentissage, 2e année 2e cycle du primaire. Dans CEC (prod.).

- Bisard, W. J. (1979). *An experimental study of the relative educational impacts of four introductory formats to a public planetarium program.*
- Black, A. A. J. (2005). Spatial ability and earth science conceptual understanding. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 402.
- Blais, M. et Martineau, S. (2006). L'analyse inductive générale: description d'une démarche visant à donner un sens à des données brutes. *Recherches qualitatives*, 26(2), 1-18.
- Brazell, B. D. et Espinoza, S. (2009, 2009). Meta-Analysis of Planetarium Efficacy Research. *Astronomy Education Review*, 8(1), 010108-010101.
- Brunello, C. (1992). Entertainment and Education: Are they compatible. *The Planetarian*, 21(1), 10-14.
- Carsten-Conner, L. D., Larson, A. M., Arseneau, J. et Herrick, R. R. (2015). Elementary Student Knowledge Gains In The Digital Portable Planetarium. *Journal of Astronomy & Earth Sciences Education (JAESE)*, 2(2), 65-76.
- Chartrand III, M. R. (1973). A Fifty year anniversary of a two thousand year dream : The History of the Planetarium. *The Planetarian*, 2(3), 95-101.
- Chastenay, P. (2013). *Conception et évaluation d'une intervention didactique à propos des phases de la Lune dans un planétarium numérique.* Université de Montréal, Montréal.
- Chastenay, P. (2014). The state of astronomy teaching in Québec's primary and elementary schools : A survey of teachers. *Journal and Review of Astronomy Education and Outreach*, 31.

- Chastenay, P. (2015). From Geocentrism to Allocentrism: Teaching the Phases of the Moon in a Digital Planetarium. *Research in Science Education*, 63.
- Chastenay, P. (2017). La didactique de l'astronomie. Dans S. El Euch, A. Groleau, G. Samson(dir.), *Didactiques: bilans et perspectives* (p. 73-97). Québec : PUQ.
- Chastenay, P. (2018). To teach or not to teach astronomy, that is the question: Results of a survey of Québec's elementary teachers. *Journal of Astronomy & Earth Sciences Education (JAESE)*, 5(2), 115-136.
- Chastenay, P. et Riopel, M. (2020). Development and validation of the moon phases concept inventory for middle school. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020107.
- Chastenay, P. et Riopel, M. (sous presse). Development and validation of the moon phases concept inventory for middle school.
- Cobb, P., Confrey, J., Lehrer, R. et Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational researcher*, 32(1), 9-13.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd edn. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cole, M., Wilhelm, J. et Yang, H. (2015, 2015). Student Moon Observations and Spatial-Scientific Reasoning. *International Journal of Science Education*, 37(11), 1815-1833.
- Comins, N. F. (1999). Identifying and addressing astronomy misconceptions in the classroom. *New trends in astronomy teaching*, 118-123.

- Design-Based Research Collective, T. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 5-8.
- DiSessa, A. (1988). Knowledge in Pieces. Dans P. Forman George and Pufall (dir.), *Constructivism in the Computer Age* (p. 49-70). New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Fletcher, J. K. (1977). *An experimental comparison of the effectiveness of a traditional type planetarium program and a participatory type planetarium program* (Doctoral Dissertation). University of Virginia.
- Fluke, C. J. et Barnes, D. G. (2008). The interactive astronomy textbook. *Astronomy Education Review*, 7(1), 113-125.
- Fortin, M.-F. et Gagnon, J. (2010). *Fondements et étapes du processus de recherche: méthodes quantitatives et qualitatives* Montréal: Chenelière éducation.
- Friedman, A., Schatz, D. et Sneider, C. (1976). Audience participation and the future of the small planetarium. *The Planetarian*, 5(4), 3-7.
- Gutsch, W. A. (1978). *Obtaining and analyzing affective response profiles in a planetarium environment: an exploratory study*.
- Heyer, I., Slater, S. J. et Slater, T. F. (2012). *Establishing the empirical relationship between non-science majoring undergraduate learners' spatial thinking skills and their conceptual astronomy knowledge* University of Wyoming Laramie, WY.
- Huberman, A. M., Miles, M. B. et De Backer, C. (1991). *Analyse des données qualitatives: recueil de nouvelles méthodes* De Boeck Université Bruxelles.

- Hunt, J. L. (1991). Planetarium Visuals: Research Questions and Proposals. *The Planetarian*, 21(1), 15-19, 21.
- Jarman, R. et McAleese, L. (1996). Physics for the star-gazer: pupils' attitudes to astronomy in the Northern Ireland Science Curriculum. *Physics Education*, 31(4), 223.
- Jonassen, D. H. (1994). Thinking Technology: Toward a Constructivist Design Model. *Educational technology*, 34(4), 34-37.
- Kavanagh, C., Agan, L. et Sneider, C. (2005). *Learning about Phases of the Moon and Eclipses: A Guide for Teachers and Curriculum Developers* (Vol. 4, pp. 19-52) : American Astronomical Society. 2000 Florida Avenue NW Suite 400, Washington, DC 20009.
- Kikas, E. (2006). The effect of verbal and visuo-spatial abilities on the development of knowledge of the Earth. *Research in Science Education*, 36(3), 269-283.
- Küçüközer, H. (2008). The effects of 3D computer modelling on conceptual change about seasons and phases of the Moon. *Physics Education*, 43(6), 632.
- Küçüközer, H., Korkusuz, E. M., Küçüközer, A. H. et Yurumezoglu, K. (2009, 2009). The Effect of 3D Computer Modeling and Observation-Based Instruction on the Conceptual Change regarding Basic Concepts of Astronomy in Elementary School Students. *Astronomy Education Review*, 8(1), 010104-010101.
- Lelliott, A. et Rollnick, M. (2010, 2010/09/01). Big Ideas: A review of astronomy education research 1974–2008. *International Journal of Science Education*, 32(13), 1771-1799. doi: 10.1080/09500690903214546

- Liu, S.-C. (2005). Models of “the heavens and the earth”: An investigation of German and Taiwanese students’ alternative conceptions of the universe. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3(2), 295-325.
- Mallon, G. L. (1974). A Pilot Study: Tape vs. Live Teaching. *Science Activities*, 11(5), 10-11.
- Marché II, J. D. (1999). *Theaters of Time and Space : The American Planetarium Community, 1930-1970*. Indiana University.
- Marché II, J. D. (2001). Sputnik, Planetaria and the Rebirth of U.S. Astronomy Education. *The Planetarian*, 30(1), 4-9.
- Mergler, R. (1975). The planetarium in the junior high science curriculum. *School Science and Mathematics*, 75(7), 591-592.
- Mikropoulos, T. A. et Natsis, A. (2011, April 2011). Educational Virtual Environments: A Ten-Year Review of Empirical Research (1999-2009). *Computers & Education*, 56(3), 769-780.
- Mills, R., Tomas, L. et Lewthwaite, B. (2016). Learning in Earth and space science: a review of conceptual change instructional approaches. *International Journal of Science Education*, 1-24.
- Ministère de l'Éducation, d. L. e. d. S. (2006). *Programme de formation de l'école québécoise. Éducation préscolaire et enseignement primaire* Québec : Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Éducation, d. L. e. d. S. (2009). *La progression des apprentissages* Québec : Gouvernement du Québec.

- Ohlsson, S. (2009, 2009/01/23). Resubsumption: A Possible Mechanism for Conceptual Change and Belief Revision. *Educational Psychologist*, 44(1), 20-40. doi: 10.1080/00461520802616267
- Paillé, P. (1991). Procédures systématiques pour l'élaboration d'un guide d'entrevue semi-directive: un modèle et une illustration. *Université de Sherbrooke*.
- Palmer, J. C. (2007). The efficacy of planetarium experiences to teach specific science concepts. *PhDT*.
- Percy, J. R. (2005). Why Astronomy is Useful and Should be Included in the School Curriculum. *Highlights of Astronomy*, 13, 1020-1021. doi: 10.1017/S1539299600018001
- Plummer, J. D. (2014). Spatial thinking as the dimension of progress in an astronomy learning progression. *Studies in Science Education*, 50(1), 1-45.
- Plummer, J. D., Bower, C. A. et Liben, L. S. (2016). The role of perspective taking in how children connect reference frames when explaining astronomical phenomena. *International Journal of Science Education*, 38(3), 345-365.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. et Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66(2), 211-227.
- Potvin, P. (2011). *Manuel d'enseignement des sciences et de la technologie: pour intéresser les élèves du secondaire* Éditions MultiMondes.
- Potvin, P., Nenciovici, L., Malenfant-Robichaud, G., Thibault, F., Sy, O., Mahhou, M. A., . . . Brault Foisy, L.-M. (2020). Models of conceptual change in science

learning: establishing an exhaustive inventory based on support given by articles published in major journals. *Studies in Science Education*, 1-55.

Raby, C. et Viola, S. (2007). *Modèles d'enseignement et théories d'apprentissage: de la pratique à la théorie* Éditions CEC.

Reed, G. et Campbell, J. R. (1972). A comparison of the effectiveness of the planetarium and the classroom chalkboard and celestial globe in the teaching of specific astronomical concepts. *School Science and Mathematics*, 72(5), 368-374.

Ridky, R. W. (1974). *A Study of Planetarium Effectiveness on Student Achievement, Perceptions and Retention*. Récupéré de <http://search.proquest.com/docview/64111286?accountid=14719>

Ridky, R. W. (1975). *The Mystique Effect of the Planetarium* (Vol. 75, pp. 505-508).

Schafer, S. (1977). An Experiment in Participatory Planetarium Programming. *The Planetarian*, 6(2), 19-21.

Schnall, S., Hedge, C. et Weaver, R. (2012). The Immersive Virtual Environment of the digital fulldome: Considerations of relevant psychological processes. *International Journal of Human-Computer Studies*, 70(8), 561-575.

Shavelson, R. J., Phillips, D. C., Towne, L. et Feuer, M. J. (2003). On the science of education design studies. *Educational researcher*, 32(1), 25-28.

Slater, T. F. et Tatge, C. B. (2017). *Research on Teaching Astronomy in the Planetarium* Springer.

- Strike, K. A. et Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*, 176.
- Sunal, D. W. (1973). The planetarium in education: an experimental study of the attainment of perceived goals.
- Sylvain, L. (2002). *Le Guide d'entrevue son élaboration, son évolution et les conditions de réalisation d'une entrevue* Association pour la recherche au collégial.
- Thouin, M. (2014). *Réaliser une recherche en didactique* (MultiMondes éd.). Montréal.
- Thouin, M. (2015). L'astronomie dans le Programme de formation de l'école québécoise et dans la classe. *Vivre le primaire*, 28(1), 47-49.
- Türk, C. et Kalkan, H. (2015, February 2015). The Effect of Planetariums on Teaching Specific Astronomy Concepts. *Journal of Science Education and Technology*, 24(1), 1-15.
- Urke, T. et Laerarhogskule, V. (1993). Research on the Effects of Teaching Astronomy with a Planetarium. *The Planetarian*, 22(4), 19-20.
- Van der Maren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation*, Presses de l'Université de Montréal et de Boeck.
- Vosniadou, S. (1991). Designing curricula for conceptual restructuring: Lessons from the study of knowledge acquisition in astronomy. *J. Curriculum Studies*, 23(3), 219-237.

- Vosniadou, S. (1994, //). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90018-3](http://dx.doi.org/10.1016/0959-4752(94)90018-3)
- Vosniadou, S. et Brewer, W. F. (1992, 1992/10/01). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535-585. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285\(92\)90018-W](http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285(92)90018-W)
- Vosniadou, S. et Brewer, W. F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive science*, 18(1), 123-183.
- Winn, W. (1993). A conceptual basis for educational applications of virtual reality. *Technical Publication R-93-9, Human Interface Technology Laboratory of the Washington Technology Center, Seattle: University of Washington.*
- Wooten, J. W. (1979). *The role of the musical soundtrack in planetarium presentations for fifth and sixth grade students.* University of Florida.
- Yee, A. H., Baer, J. M. et Holt, K. D. (1971). *An evaluation of the effectiveness of school planetarium experiences* Educational Technology Publications.
- Yu, K. C., Sahami, K., Sahami, V. et Sessions, L. C. (2015). Using a digital planetarium for teaching seasons to undergraduates. *Journal of Astronomy & Earth Sciences Education (JAESE)*, 2(1), 33-50.
- Zimmerman, L., Spillane, S. et Reiff, P. (2014). Comparison of student learning about space in immersive and computer environments. *Journal and Review of Astronomy Education and Outreach.*