

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

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN ENSEIGNEMENT

PAR FRANCIS POISSON-GAGNON

INTÉGRATION DES OUTILS DE FABRICATION
NUMÉRIQUES DANS LES CLASSES DE SCIENCE ET TECHNOLOGIE

SEPTEMBRE 2018

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son essai.

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

REMERCIEMENTS

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur d'essai, Ghislain Samson. Chacune de ses interventions ont été des plus pertinentes. Chacun de ses commentaires a permis de mieux structurer mes idées dans mes moments d'égarement.

Je tiens également à remercier l'ensemble de l'équipe professorale de l'Université du Québec à Trois-Rivières qui a fait de cette maîtrise un parcours enrichissant et hautement pertinent.

J'aimerais remercier Valérie qui m'a permis de progresser rapidement dans les derniers moments de collecte de données et tous les autres qui m'ont encouragé dans les moments les plus difficiles de cette maîtrise : Anne, Anaïs, Julien, Noémie, Serge et tous les autres. Mille fois merci!

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES	vi
RÉSUMÉ	vii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I - PROBLÉMATIQUE.....	3
1.1 Le contexte social, économique et environnemental	4
1.2 Des technologies novatrices pour changer notre façon d’enseigner	6
1.3 La technologie et l’ingénierie, un monde en constant changement	7
1.4 Les changements curriculaires en science et technologie	8
1.5 Le développement des compétences professionnelles	10
1.6 L’intégration des outils de fabrication numérique dans les classes	11
CHAPITRE II - CADRE DE RÉFÉRENCE	13
2.1 Le constructionnisme	13
2.2 Les pratiques enseignantes en S&T	15
2.3 Les outils de fabrication numérique comme TIC.....	16
2.4 Les facteurs influençant l’intégration des TIC.....	17
2.5 Les objectifs de l’essai	18
CHAPITRE III – MÉTHODOLOGIE	20
3.1 L’approche méthodologique	20
3.2 Le contexte de la recherche.....	22
3.3 Les participants à la recherche	22

3.4 La récolte de données.....	23
3.5 L'analyse des données.....	23
CHAPITRE IV – RÉSULTATS ET ANALYSE.....	25
4.1 Le portrait du participant 1.....	25
4.1.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique	25
4.1.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique	26
4.2 Le portrait du participant 2.....	27
4.2.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique	27
4.2.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique	28
4.3 Le portrait du participant 3.....	28
4.3.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique	29
4.3.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique	30
4.4 Le portrait du participant 4.....	31
4.4.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique	31
4.4.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique	31
4.5 Le portrait du participant 5.....	32
4.4.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique	33
4.5.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique	33
4.6 Le portrait du participant 6.....	34
4.6.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique	35
4.6.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique	35
4.7 Le portrait du participant 7.....	36
4.7.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique	36

4.7.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique	37
4.8 Un retour sur les questions de recherche.....	37
CHAPITRE V – DISCUSSION ET CONCLUSION	39
5.1 L'interprétation et la discussion des résultats	39
5.1.1 L'imprimante 3D comme outil préconisé	40
5.1.2 Les niveaux et contexte d'utilisation.....	40
5.1.3 La pertinence du dessin assisté par ordinateur.....	41
5.1.4 L'itération dans les projets.....	41
5.1.5 Des projets plus libres	42
5.1.6 La formation des enseignants et le temps	42
5.1.7 Un remplacement des ateliers de machine-outil	43
5.1.8 Un intérêt plus grand des élèves.....	44
5.2 Les apprentissages réalisés.....	44
5.3 Les apports professionnels	45
5.4 Les limites de l'étude	46
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	47
APPENDICE A - SCHÉMA DE L'ENTREVUE.....	52

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

3D : tridimensionnelle

ATS : Applications technologiques et scientifiques

CNC : Commande numérique par ordinateur

CRIJEST : Chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie

CSE : Conseil supérieur de l'éducation

CSMB : Commission scolaire Marguerite-Bourgeoys

DGF : Domaines généraux de formation

Fab Lab : Laboratoire de fabrication numérique

PFEQ : Programme de formation de l'école québécoise

S&T : Science et Technologie

SAÉ : Situation d'apprentissage et d'évaluation

ST : Science et technologie

STE : Science et technologie de l'environnement

STEAM : Science, Technology, Engineering, Art and Math

TIC : Technologies de l'information et de la communication

RÉSUMÉ

Dans le cadre de ma maîtrise en enseignement des science et technologie au secondaire à l'Université du Québec à Trois-Rivières, j'ai à réaliser un essai. L'objectif de ce projet est de décrire les pratiques des enseignants en science et technologie en regard des outils de fabrication numérique. Pour ma part, la problématique se rapporte à l'intégration des outils de fabrication numérique dans les classes de science et technologie au secondaire. Le projet vise à répondre aux questions suivantes : « Dans quels objectifs les enseignants de science et technologie utilisent-ils des outils de fabrication numérique? » et « Quels sont les défis d'utiliser de tels outils dans les classes de science et technologie? ». Pour répondre à ces questions, j'ai réalisé des entrevues auprès de dix enseignants du secondaire en science et technologie (S&T). Une transcription « verbatim » des entrevues a été réalisée dans laquelle des énoncés significatifs ont été ressortis pour ensuite être résumés et classifiés selon mes questions de recherche. Il a été observé que le principal outil utilisé par ces enseignants est l'imprimante 3D. Bien que ceux-ci considèrent cet outil important, la priorité est mise, dans leur enseignement, sur le dessin assisté par ordinateur et ils l'utilisent afin d'enseigner l'univers technologique. Ces outils donnent la possibilité d'avoir un enseignement de l'univers technologique plus axé sur les réalités de notre temps. Néanmoins, les enseignants ont noté plusieurs défis à l'intégration, notamment quant à l'aspect organisationnel en classe ainsi que le temps nécessaire à l'appropriation de ces outils. Malgré les avantages énoncés de ces derniers sur la rapidité et la qualité du produit fini, l'idéal en classe ne semble pas atteint, à savoir la réalisation de projets plus libres où les élèves pourraient concevoir un objet qu'ils ont imaginé et de permettre aux élèves d'itérer plusieurs fois dans leur cycle de design. Étant donné l'essor de l'utilisation de ces outils, il est recommandé aux différents acteurs du monde de l'éducation de se positionner quant à la pertinence de l'intégration de ces outils en classe et de donner des directives claires quant à leur utilisation.

Descripteurs : outils, fabrication numérique, science, technologie, imprimantes 3D

INTRODUCTION

Mon cheminement scolaire m'a amené très fortement à porter un intérêt au monde des technologies. Déjà, comme élève au secondaire, je m'intéressais au monde de l'électronique et de la programmation. Mes tentatives, à l'époque, pour réussir à faire de l'électronique programmable étaient toutefois laborieuses avec les outils de l'époque. Quand je regarde ce qui se fait aujourd'hui dans certaines écoles avec les cours de robotique, c'est un monde totalement différent que j'aurais aimé vivre comme élève. Malgré tout, mes explorations comme élève m'ont amené à poursuivre aux études post-secondaires, premièrement en technique du génie électrique et ensuite au baccalauréat en génie électrique.

À travers ces années, j'ai pu découvrir des outils de plus en plus simples à utiliser qui permettent désormais à presque quiconque de réaliser de l'électronique programmable et de se familiariser avec le monde de l'ingénierie mécanique. Cette démocratisation des outils m'a amené à m'intéresser au domaine de l'éducation et à me dire qu'il était possible d'amener les jeunes beaucoup plus tôt vers les domaines de l'ingénierie. À travers ce processus, j'ai également découvert le monde des Fab Labs et des « Makerspaces » qui visent également à rendre accessible à tous la fabrication d'objets auprès de tous. À travers un processus de démarrage d'entreprises, qui consistait à mettre en place des ateliers collectifs (fabrication numérique, ébénisterie, travail du métal, arts) à Sherbrooke, j'ai fait de nombreuses rencontres qui ont éveillé mon intérêt de développer ces concepts dans le monde de l'éducation.

Cet essai vise donc à aller à la rencontre de ces enseignants qui innorent déjà dans les cours de science et technologie au secondaire en instaurant de nouvelles pratiques dans leurs classes afin de pouvoir m'en inspirer dans ma carrière future, comme professionnel de l'enseignement.

Structure de l'essai

Dans le premier chapitre, j'exposerai les changements technologiques et curriculaires en science et technologie qui incitent à croire que les outils de fabrication numérique ont une pertinence dans les classes de science et technologie aujourd'hui. Du plus, je montrerai comment cet essai s'inscrit dans une démarche professionnelle, puis finalement j'énoncerai ma question de recherche. Dans le deuxième chapitre, je présenterai un cadre théorique qui décrira les pratiques enseignantes en science et technologie afin d'être plus à même de les analyser dans les chapitres suivants. Je ferai également le lien entre les TIC et les outils de fabrication numérique et j'exposerai les facteurs favorisant l'intégration des TIC en classe. Dans le troisième chapitre, je montrerai la méthodologie employée afin de récolter les données à l'aide d'entrevues auprès d'enseignants de science et technologie. Le cinquième chapitre portera sur les résultats de ces entrevues où un résumé des faits saillants sera démontré. Au dernier chapitre, celui de l'analyse et de la conclusion, je ferai ressortir les grandes lignes qui ressortent de ces résultats suite à un regroupement des données entre les différentes entrevues.

CHAPITRE I - PROBLÉMATIQUE

D'importants changements prennent place dans notre société quant à la façon dont se consomment et se produisent les technologies. Certains auteurs, dont Anderson (2012), allant même jusqu'à parler d'une nouvelle révolution industrielle. Comme citoyen, notre lien aux technologies a été grandement modifié par l'avènement de l'ordinateur et d'Internet, puis par l'essor d'une économie collaborative et le développement de nouveaux outils de fabrication et de conception. Au début des années 2000, des changements curriculaires importants sont également apparus dans le Programme de formation de l'école québécoise (PFEQ) en intégrant la technologie dès le deuxième cycle du primaire, puis au secondaire conduisant ainsi au cours de science et technologie (S&T). Ce dernier programme met maintenant de l'avant l'interdisciplinarité entre les sciences¹, technologie, ingénierie et mathématiques (Hasni, Lenoir, Larose, Samson, Bousadra et Dos Santos, 2008). L'École a dû et doit constamment se renouveler quant au matériel didactique utilisé en classe tout en développant de nouvelles stratégies pédagogiques en accord avec les théories éducatives. Face à un besoin de main-d'œuvre toujours grandissant dans les domaines scientifiques et technologiques, l'École a aussi comme mandat d'attirer plus de jeunes dans ces domaines. Comme il sera vu, les technologies de fabrication numériques peuvent s'inscrire dans ces nouvelles tendances et ont le potentiel, à nos yeux, de devenir un point central de l'éducation technologique à l'école secondaire.

Dans la première section, il est démontré comment les technologies de fabrication numérique s'inscrivent dans le contexte social, économique et environnemental actuel. Dans la deuxième section, les outils de fabrication numérique sont définis sommairement. Dans la troisième section, il est montré comment les domaines des technologies et de l'ingénierie ont changé dans les vingt dernières années, d'où la nécessité de renouveler

¹ La portion scientifique du cours comprend de l'astronomie, de la biologie, de la chimie, de la géologie et de la physique.

leur enseignement. Ensuite, la quatrième section met en lumière les récents changements curriculaires dans le PFEQ. La cinquième section montre comment ce projet d'essai s'inscrit dans une démarche de développement professionnel en lien avec les TIC, puis dans la dernière section, la question de recherche en lien avec l'avènement des technologies de fabrication numérique dans les écoles québécoises est présentée.

1.1 Le contexte social, économique et environnemental

Les cégeps et universités sont constamment à la recherche de nouveaux étudiants pour répondre aux besoins de main-d'œuvre en science et génie. Selon les estimations d'Emploi-Québec (2012), le domaine des sciences naturelles et appliquées est celui qui vivra la plus grande hausse d'emplois d'ici 2021 en augmentant d'une moyenne de 1,8 % par année. Malgré ces perspectives favorables, il y a de moins en moins de jeunes qui choisissent ces domaines pour leurs emplois futurs (Giordan, 2010). Cette situation a d'ailleurs mené à la création de la Chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie [CRIJEST] (Tanguay, 2012). Plusieurs facteurs influencent l'intérêt porté par les jeunes à l'égard de ces domaines. Les méthodes d'enseignement les plus efficaces étant celles qui demandent à faire un lien entre ce que les élèves vivent à la maison et ce qu'ils apprennent. Les démarches d'investigation où les jeunes sont appelés à formuler la procédure de résolution de problèmes est également une stratégie à prioriser dans l'enseignement (Hasni et Potvin, 2015).

Au-delà de la nécessité de former plus de jeunes en S&T pour subvenir à la demande future, le Québec a également besoin de plus d'entrepreneurs. Le ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (2011) parle même d'une situation préoccupante. Selon l'Indice entrepreneurial québécois réalisé par la Caisse de dépôt et placement du Québec (2017), 40,9 % des jeunes de 18 à 34 ans ont l'intention de démarrer une entreprise dans leur développement professionnel. Les services professionnels, scientifiques et techniques est le secteur d'activités le plus convoité par ces nouveaux entrepreneurs, avec un taux de 17,5 %. Le secteur de la fabrication, quant à lui, n'attire que 4,2 % de ces futurs entrepreneurs. Il est clair que l'éducation scientifique

et technologique a un rôle à jouer quant à l'intérêt des jeunes au regard de l'entrepreneuriat. Même son de cloche du côté de la Maison-Blanche (2014), où l'on voit même le mouvement « maker » comme étant la clé de la reprise économique américaine. L'éducation étant au cœur de cette approche:

L'apparition de ces outils, une accessibilité croissante aux « makerspaces » locaux et des événements comme les « Maker Faires » à travers tout le pays, inspirent une nouvelle génération d'entrepreneurs et permettent aux « Makers » de démarrer de nouvelles entreprises de fabrication, de la même façon que Steve Wozniak et Steve Jobs ont développé et mis en marché le premier ordinateur Apple en participant au « Homebrew Computer Club ». Les mentors et éducateurs continuent dans la même lancée en inspirer les garçons et filles à inventer, patenter et apprend des compétences essentielles à l'enseignement de la science, technologie, de l'ingénierie, et des mathématiques (Traduction libre de Maison-Blanche, 2014)

Le mouvement « Maker » aux États-Unis consiste en le rassemblement de gens passionnés par l'esprit du « faites-le vous-même » dans des domaines aussi variés que l'électronique, le bricolage, le cuisine, l'ébénisterie, la robotique, la fabrication numérique et la réparation mécanique. Le but étant de rassembler des gens de tout horizon dans la fabrication d'objets de la vie courante (Dougherty, 2013; Pepler et Bender, 2013).

Les Fab Labs, un concept d'ateliers comprenant des outils de fabrication numérique, s'inscrivent aussi dans un contexte de crise écologique. Celle-ci amène l'ensemble des acteurs de la société à se questionner sur ses pratiques. En éducation, particulièrement dans le domaine des science et technologie, de plus en plus d'importance est accordée à l'éducation relative à l'environnement. Le ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (2007) précise d'ailleurs dans le programme de S&T :

Sur le plan éthique, il est important de constater que si certaines avancées mathématiques, scientifiques et technologiques concourent à notre bien-être individuel et collectif, il en est d'autres qui modifient profondément l'équilibre social, politique et écologique de notre planète. Les effets à court terme de ces dernières sont alors fréquemment invoqués par les tenants de la seule rentabilité économique, au détriment de la considération de leurs effets à long terme. (p. 6)

Les Fab Labs, en proposant un modèle de production locale, viennent déranger les modèles de production industrielle connue aujourd'hui et qui, en grande partie, sont

responsables de la crise écologique actuelle. Produire des objets à l'autre bout du monde et dépenser des sommes faramineuses pour effectuer le transport pourra être remplacé par l'envoi d'un design par courriel et par sa production locale grâce aux outils de fabrication numérique et à des laboratoires de fabrication adaptés (Martinez et Stager, 2013; Rumpala, 2014).

Les Fab Labs s'inscrivent donc dans des changements sociétaux reliés à l'emploi et l'environnement. Au-delà du contexte économique, les avancées technologiques des dernières décennies amènent de nouvelles compétences disciplinaires qui n'étaient pas présentes dans l'élaboration des premiers programmes en éducation au Québec dans les années 1970.

1.2 Des technologies novatrices pour changer notre façon d'enseigner

Parmi les récentes technologies maintenant accessibles dans les écoles, la famille des technologies de fabrication numérique permet désormais de réaliser du prototypage rapide de produits sur mesure. Ces machines sont de plus en plus abordables que ce soit dans les domaines du dessin assisté par ordinateur, de l'impression 3D, de la découpe au laser, etc. De plus, la possibilité de pouvoir créer des machines qui interagissent avec leur environnement dans le domaine de la robotique et de l'électronique programmable sont maintenant de plus en plus simples à utiliser et ne s'adressent plus seulement aux ingénieurs. Finalement, ces différentes technologies ne pourraient être accessibles pour une classe sans le développement d'interface et de langage de programmation simplifiée. Cet essai s'intéresse particulièrement aux technologies de fabrication numérique et indirectement au dessin assisté par ordinateur.

L'une des technologies dont il a été grandement question dans les dernières années se trouvent à être les imprimantes 3D. De la même façon qu'une imprimante 2D imprime point par point sur une surface plane, l'imprimante 3D réalise un dépôt de matériel « couche par couche », « l'une par-dessus l'autre » permettant de réaliser une multitude de formes.

Une autre famille d'outils de fabrication numérique se trouve à être celle qui permet une découpe bidimensionnelle dans des matériaux aussi variés que le plastique, le bois, le métal et le papier. L'un des outils que l'on retrouve de plus en plus se trouve à être la découpeuse au laser. Cet outil donne la possibilité de découper dans les matériaux nommés précédemment avec une très grande précision et en un temps très court. Les utilisateurs de tels outils peuvent ainsi créer en quelques heures des prototypes fonctionnelles et d'une qualité professionnelle.

Les outils de fabrication numérique, que ce soient les imprimantes 3D ou les découpeuses laser, sont ainsi définis comme des outils qui ne nécessitent pas l'intervention de l'être humain dans le processus de fabrication. Ces outils étant de plus en plus présents, les enseignants de S&T doivent adapter leur enseignement afin d'intégrer ces outils en enseignement. La prochaine section portera sur les raisons qui devraient amener le monde de l'éducation des science et technologie à adopter ce changement.

1.3 La technologie et l'ingénierie, un monde en constant changement

À travers l'histoire, l'apparition de nouveaux champs de compétences a amené le milieu de l'éducation à s'adapter. Par exemple, au 16^e siècle, le système d'arithmétique Treviso qui correspond aux opérations mathématiques que l'on utilise aujourd'hui a commencé à être utilisé. Il y avait le besoin, à l'époque, de démocratiser l'arithmétique pour qu'elle soit utilisable par tous dans les activités marchandes. De la même façon dans les années 1970, la programmation est devenue cette compétence qu'on devait démocratiser pour tous. L'histoire du microordinateur semble être une tendance qui se répète aujourd'hui. À l'époque, les ordinateurs étaient peu accessibles, mais cette situation a bien changé. L'évolution des technologies et la recherche et développement dans le domaine a permis de rendre ces nouvelles compétences accessibles à des millions d'étudiants. Aujourd'hui, ces nouvelles compétences pourraient devenir la fabrication numérique et traditionnelle comme moteur de l'enseignement de l'ingénierie et du design (Blikstein, 2013).

Certains chercheurs ont d'ailleurs vu dans l'ordinateur une nouvelle voie en éducation, ce qui a mené à la création d'ensembles de robotique Lego², le développement de langage de programmation plus simple à apprendre et de kits d'électronique adapté pour les jeunes (Blikstein, 2013). Ces travaux ont surtout été réalisés au sein du « Media Lab » au Massachusset Institute of Technology (MIT). Dans les années 2000, le MIT a mis sur pied un cours qui se nomme « How to Make Almost Anything ». Dans ce cours, les étudiants étaient amenés à apprendre à utiliser différentes machines-outils afin d'y fabriquer des objets. Gershenfeld (2012), qui a mis sur pied ce cours, a été surpris par la rapidité à laquelle les étudiants créaient des objets totalement fonctionnels, et ce, sans une grande équipe de conception. Ces laboratoires de fabrication sont maintenant répandus à travers le monde sous le nom de Fab Lab.

1.4 Les changements curriculaires en science et technologie

Ces différentes avancées technologiques amènent le milieu de l'éducation à devoir s'adapter constamment aux réalités contemporaines. Il est également à prévoir que de futures avancées amèneront l'ajout d'autres domaines disciplinaires qui devront aussi s'ajouter dans le curriculum scolaire. Au secondaire, le programme est, rappelons-le, constitué de contenus provenant de cinq disciplines soient la chimie, la physique, l'astronomie, la biologie et la géologie. Le domaine des « Mathématiques, science et technologie » se retrouve également dans le programme, ces trois compétences disciplinaires étant sensiblement les mêmes tout au long du primaire et du secondaire, ce qui met maintenant un accent particulier sur le lien interdisciplinaire avec les mathématiques. Dans le volet « technologie » du programme scolaire, se retrouve maintenant des disciplines comme l'ingénierie électrique, l'ingénierie mécanique, les biotechnologies, les matériaux, le dessin de plans. Des domaines généraux de formation (DGF) existent également, permettant de mettre en lien les apprentissages disciplinaires et de la vie en dehors de l'école. Ces DGF sont au nombre de cinq : Santé et bien-être; Orientation et entrepreneuriat; Environnement et consommation; Médias; Vivre ensemble

² Notamment WeDo au primaire et Mindstorm au secondaire

et citoyenneté (Hasni et Lebeaume, 2010). Ces tendances dans les programmes scolaires ont amené de nouveaux défis pour les enseignants afin de pouvoir couvrir l'ensemble de ces disciplines et faire des liens entre les matières, une forme d'interdisciplinarité au sens large. Ceci va dans le même sens que les orientations américaines où le programme parle désormais de STEAM (Science, Technology, Engineering, Art and Mathematic).

Dans les années qui suivront, les enseignants en science et technologie devront s'adapter à ce nouveau contexte. Comme il a été vu, le Programme et les enseignants doivent suivre ces nouvelles tendances quant à l'enseignement des technologies. Or, la situation actuelle est telle que la formation initiale des enseignants n'outille pas bien les futurs enseignants de primaire et du 1^{er} cycle du secondaire quant à l'intégration de la technologie dans les cours (CSE, 2013). Il y a donc une nécessité d'améliorer la formation initiale des futurs enseignants.

Or, dans un contexte d'évolution technologique rapide, la formation continue doit également prendre une place plus importante. Les enseignants en S&T subissent aujourd'hui une pression élevée provoquée par un champ disciplinaire très large (cinq disciplines scientifiques et l'ingénierie) et difficile à connaître de fond en comble. Dans cette optique, le CSE (2013) recommande aux écoles de développer des partenariats avec des organismes extérieurs à l'école qui visent la promotion de la culture technoscientifique.

Au cours du 20^e siècle, il y a eu une disparition de l'expérience de fabrication (« Shop Class ») de l'enseignement primaire et secondaire particulièrement aux États-Unis. La fabrication était une matière pour les élèves qui n'étaient pas capables d'apprendre les mathématiques et les sciences. Ce changement s'est même opéré dans les facultés d'ingénierie dans les universités nord-américaines où la formation était axée beaucoup plus sur du « contenu théorique » que sur du « contenu pratique ». Au début du 21^e siècle, cette tendance s'est inversée face à un constat des entreprises et des facultés : les ingénieurs n'étaient plus bien formés pour réaliser un travail de conception (Blikstein, 2013).

Dans un récent document destiné aux enseignants québécois en science et technologie, le CRIJEST (2013) vise à favoriser l'intérêt des élèves pour ces domaines. Ce document, sous la forme d'un dépliant, décrit quatre recommandations quant aux interventions à prioriser en classe : les démarches d'investigation scientifique, la contextualisation des apprentissages, l'enseignement par projets et le travail collaboratif. Les recommandations accordent une importance particulière aux apprentissages axés sur la « vraie vie ». Or, l'univers technologique s'appuie grandement sur la création d'objets physiques ayant une fonction comme le montre les champs disciplinaires couverts par cet univers : ingénierie mécanique, ingénierie électrique, biotechnologies, matériaux et dessins de plans. Les compétences en fabrication font également partie du programme.

L'idée de pouvoir fabriquer à peu près n'importe quoi semblerait, *a priori*, plus près de l'enseignement de la technologie étant donné la présence de l'ingénierie dans le PFEQ. L'intégration de laboratoire de fabrication intégrant des outils de fabrication numérique dans l'école semble donc être une avenue intéressante.

1.5 Le développement des compétences professionnelles

Face à cette nécessité d'adapter son enseignement pour faire face à ces changements technologiques et curriculaires, il est essentiel comme enseignant de s'engager dans une démarche de développement professionnel.

Cet essai vise particulièrement le développement de la compétence professionnelle 8, laquelle cible l'enseignant afin qu'il soit en mesure d'utiliser efficacement les TIC (Technologies de l'information et de la communication) dans le pilotage d'activité d'apprentissage (Ministère de l'Éducation du Québec, 2001), aujourd'hui indissociable du métier d'enseignant. Cet essai s'inscrit plus particulièrement dans les composantes 1 et 6 de la compétence 8. Les technologies de fabrication numérique peuvent en effet s'inscrire comme des TIC puisque la principale activité en lien avec ces technologies consiste en la production de documents numériques qui mènent éventuellement vers un objet tangible.

La composante 1 qui se libelle ainsi « Exercer un esprit critique et nuancé par rapport aux avantages et aux limites véritables des TIC comme soutien à l'enseignement et à l'apprentissage, ainsi qu'aux enjeux pour la société » (MEQ, 2001, p. 108) fait appel à l'esprit critique des enseignants. Ainsi, l'enseignant doit être en mesure de connaître les différentes technologies éducatives qui peuvent l'aider à faire des interventions pédagogiques (incluant la didactique) avec ses élèves. Il devient nécessaire pour lui de distinguer entre une technologie rendant son enseignement plus efficace et l'une dont le but premier est davantage occupationnel et sans réel objectif d'apprentissage. L'enseignant doit non seulement se questionner sur ces technologies, mais surtout sur la portée pédagogique et didactique. Ainsi, ces technologies peuvent réellement servir différentes approches pédagogiques. Mais il faut aussi penser que certains outils n'existent que dans une logique marchande, plutôt qu'avec un réel but éducatif.

La composante 6 se formule ainsi : « Aider les élèves à s'approprier les TIC, à les utiliser pour faire des activités d'apprentissage, à évaluer leur utilisation de la technologie et à juger de manière critique les données recueillies sur les réseaux. » (MEQ, 2001, p. 108). Cette composante vise à ce que l'enseignant s'engage dans une démarche où il aide l'élève à développer une « littératie » à l'égard des TIC, soit qu'ils soient en mesure d'utiliser les technologies de façon productive intégrée. L'enseignant doit ainsi apprendre à l'élève les meilleures façons d'utiliser les TIC pour apprendre.

Cet essai amène à porter un regard plus critique sur les technologies de fabrication numérique et d'être plus en mesure d'accompagner les élèves dans l'utilisation de telles technologies.

1.6 L'intégration des outils de fabrication numérique dans les classes

Dans la dernière décennie, les recherches sur l'apprentissage par la fabrication, le phénomène des Fab Labs et le mouvement « maker » s'est considérablement diversifié et approfondi. L'utilisation d'outils de fabrication numérique (imprimante 3D, découpeuse laser, etc.) semble être de plus en plus populaire dans certaines classes malgré l'absence de la mention de tels outils dans le PFEQ. En effet, comme il a été vu précédemment, des

initiatives de Fab Labs prennent place dans certaines commissions scolaires (CSMB, 2015) dans un cadre d'éducation formelle. La première question à se poser est : « Dans quels objectifs les enseignants de science et technologie utilisent-ils des outils de fabrication numérique? ». Les différentes pratiques qui seront documentées répondront à une deuxième question : « Quels sont les défis d'utiliser de tels outils dans les classes de science et technologie? ».

La prochaine section expose les principaux concepts sur lesquels cet essai s'appuie pour analyser l'intégration des outils de fabrication du point de vue des pratiques enseignantes quant à l'intégration des TIC.

CHAPITRE II - CADRE DE RÉFÉRENCE

Ce chapitre démontrera comment l'intégration des outils de fabrication numérique peuvent être analysés du point de vue des pratiques enseignantes en lien avec les TIC. Premièrement, il sera vu comment la fabrication d'un objet concret peut rendre service à l'apprentissage. Deuxièmement, les pratiques enseignantes en S&T seront définies afin de déterminer de quelle façon les enseignants intègrent de tels outils. Troisièmement, il sera démontré comment les outils de fabrication numérique peuvent être définies comme TIC puis, dernièrement, les principaux facteurs influençant l'intégration des TIC seront définis.

2.1 Le constructionnisme

La justification de la pertinence de l'utilisation des outils de fabrication numérique en classe peut se faire en s'appuyant sur différentes théories de l'apprentissage, plus particulièrement à travers la théorie du constructionnisme de Papert où l'apprenant est appelé à créer un « artefact » tangible avec lequel il peut penser. Cette théorie considère « l'artefact » comme un objet qui a un sens très personnel pour l'individu et aussi par le fait que Papert met l'accent sur les nouvelles technologies et l'informatique (Ackemann, 2001). Il n'y a donc pas seulement une importance mise sur la construction, mais également sur la compréhension de comment l'individu apprend avec cet artefact.

Selon Papert, l'ordinateur n'était pas le seul médium de construction; il ne faut pas seulement y faire du traitement de texte, mais également de la programmation. C'est la raison pour laquelle ils ont développé Logo, un langage qui permet de concevoir facilement un code informatique. Encore aujourd'hui, son successeur, Scratch, continue à être utilisé par les enfants pour apprendre à programmer. La programmation permettant d'utiliser diverses possibilités de l'ordinateur. En pouvant créer son propre monde, l'ordinateur permet d'encourager de multiples façons d'apprendre et de penser (Papert, 1993).

Dans le dernier projet de recherche de Seymour Papert, l'équipe a créé un environnement d'apprentissage dédié au constructionnisme dans une prison pour adolescents. Ce laboratoire allait au-delà de l'informatique en permettant, par exemple, de fabriquer une guitare en bois, un avion ultraléger, un habitat pour animal ou encore un télescope. Il y avait donc un mélange de méthodes de fabrication traditionnelles et de l'utilisation de nouvelles technologies (Martinez et Stager, 2013), lesquelles sont en lien direct avec le cours de S&T au secondaire. Au cours de ce programme de recherche qui s'est étalé sur trois ans, Papert a ressorti huit grandes idées qui sous-tendent ce laboratoire : 1) L'apprentissage se fait beaucoup mieux quand il se fait quelque chose qui est près des intérêts de l'apprenant. 2) Les technologies permettent de fabriquer des choses beaucoup plus intéressantes et beaucoup mieux. 3) Un « plaisir difficile », c'est-à-dire que le plaisir est important dans l'apprentissage, mais n'est pas nécessairement synonyme de facilité. 4) Il faut « apprendre à apprendre » plutôt que de se faire enseigner. Chacun a la responsabilité de son apprentissage. 5) Il faut prendre le temps requis pour faire le travail et il faut que chacun apprenne à gérer son temps. 6) Il ne faut pas s'attendre à avoir des succès sans passer par un échec, il faut apprendre de ses échecs afin de les mener à des succès. 7) En tant qu'enseignant, il faut faire vivre les mêmes expériences à soi qu'aux élèves et leur montrer qu'on vit la même chose. 8) Le monde technologique est peut-être aussi important que l'écriture et la lecture (Stager, 2006, cité dans Libow, Martinez et Stager, 2013).

Depuis ces recherches réalisées par Seymour Papert, de nombreux autres ont étudié l'apprentissage par la fabrication à travers d'autres moyens et contextes chez différents groupes d'apprenants : les textiles électroniques (Kafai, Fields et Searle, 2015), la robotique (Chambers, Carbonaro et Rex, 2007) et les technologies de fabrication numérique (Beyers, 2010; Blikstein, 2013; Smith, 2013). Ces différents moyens étant, de façon générale, partie prenante d'un atelier de fabrication numérique.

2.2 Les pratiques enseignantes en S&T

Bien que la fabrication numérique puisse être justifié par les différentes théories de l'apprentissage, il reste que l'un des principaux vecteurs pour l'apprentissage des élèves reste l'enseignant. C'est pourquoi cet essai aborde l'intégration des outils de fabrication numérique du point de vue des pratiques de l'enseignant. Dans cet optique, cette section a comme objectif de définir les pratiques enseignantes efficaces en science et technologie, particulièrement en lien avec le numérique.

Tout d'abord il est important de définir la pratique enseignante. La pratique enseignante correspond à « une manière de faire singulière propre à un enseignant qui comprend, outre l'ensemble des actes observables, des choix et des prises de décision dans une situation donnée » (Lefebvre, 2005, p. 56). Les actes observables ne se limitant pas à ce qui se passe en classe, mais également à ce qui se passe en dehors de la classe, c'est ce qu'on appelle les actes observés. Pour ce qui est des choix et des prises de décision, c'est ce qu'on appelle les actes déclarés, puisque ces pratiques nécessitent que l'enseignant les verbalise pour être mis au jour. Cet essai s'intéresse particulièrement aux pratiques déclarées, en reconnaissant que ces pratiques ne sont pas nécessairement représentatives des pratiques réelles de l'enseignant.

Il est à noter que la pratique d'enseignement est englobée dans la pratique enseignante qui comprend l'ensemble des activités réalisées dans l'école (La Madeleine, 2014).

Selon Karsenti et Larose (2005), une pratique d'enseignement est divisée en trois temps, soit « l'ensemble des actes singuliers finalisés d'un professionnel, réalisés aux phases préactive (planification de l'action), interactive (action en présence des apprenants) et postactive (évaluation de l'action) de l'intervention auprès d'apprenants, ainsi que les significations que ce professionnel leur accorde » (p. 115). D'un point de vue de l'intégration des outils de fabrication numérique, cela signifie qu'il est pertinent de s'intéresser auprès des enseignants autant à l'aspect de planification, à l'action en classe ainsi qu'à l'évaluation de l'action.

Ainsi, du point de vue de l'intégration des outils de fabrication numérique, il sera pertinent de s'intéresser à ces trois temps de la pratique d'enseignement, à la planification de l'utilisation de ces outils, c'est-à-dire les motifs et les intentions de l'enseignant à utiliser ces outils. De même, l'action de l'enseignant en classe permettra de ressortir les avantages et inconvénients en classe de l'utilisation de ces outils.

L'étude des pratiques d'enseignement des science et technologie a aussi permis de faire ressortir quelques caractéristiques d'une pratique efficace d'enseignement des science et technologie, parmi celles-ci, cet essai s'intéressera particulièrement à « l'utilisation des technologies pour rehausser le processus d'apprentissage et faciliter l'acquisition de représentations multimodales » (Couture, Dionne, Savoie-Zajc et Arousseau, 2015, p. 115). En effet, l'utilisation des technologies de l'information et des communications (TIC) sont utilisées pour améliorer l'apprentissage. Par exemple, l'utilisation du tableau numérique interactif a été un moyen efficace pour amener de la motivation de la part des élèves et mieux comprendre les concepts scientifiques qui les entourent. Néanmoins, une pratique efficace d'intégration des outils de fabrication numérique ne devrait pas amener une approche où il y a transmission des connaissances à l'élève plutôt qu'une construction par l'élève de ses connaissances. Il sera donc pertinent d'analyser l'intégration de ces outils à travers sa pertinence pédagogique.

Dans le domaine des science et technologie, il peut y avoir une confusion entre les TIC et les technologies auxquelles se réfèrent le PFEQ. La prochaine section permettra de mieux définir ce qu'est un outil de fabrication numérique et comment il se retrouve à la frontière entre ces deux mondes.

2.3 Les outils de fabrication numérique comme TIC

Les TIC sont constitués de trois composantes : les technologies, l'information et la communication. Ainsi, une technologie pour être nommée TIC devrait comprendre ces trois composantes.

Selon Basque (2005 dans Lamadeleine, 2014, p. 58),

les technologies de l'information et de la communication renvoient à un ensemble de technologies fondées sur l'informatique, la microélectronique, les télécommunications (notamment les réseaux), le multimédia et l'audiovisuel, qui, lorsqu'elles sont combinées et interconnectées, permettent de rechercher, de stocker, de traiter et de transmettre des informations, sous forme de données de divers types (texte, son, images fixes, images vidéos, etc.) et permettent l'interactivité entre des personnes, et entre des personnes et des machines.

Un outil de fabrication numérique peut se définir comme TIC étant donné que cet outil est fondé sur l'informatique, la microélectronique et même les télécommunications. Ainsi, un utilisateur d'un outil de fabrication numérique peut se connecter à Internet (télécommunications) à partir de son ordinateur (informatique) afin de récupérer un fichier d'image 3D (recherche de données), le modifier (traitement de données) puis le transmettre à son outil de fabrication numérique pour être fabriqué. La fabrication d'un objet ne se limitant ici plus à une démarche d'ingénierie puisque ces outils peuvent aussi bien servir à un enseignant d'art qui voudrait intégrer ces outils dans sa classe.

La commission scolaire Marguerite-Bourgeoys (CSMB) (2015) note dans son rapport de lancement :

La commission scolaire Marguerite-Bourgeoys a, au travers de cette initiative, l'occasion de stimuler son milieu scolaire et toutes les communautés qui sont sur son territoire grâce à une proposition de service qui permet de faire d'une école non seulement un lieu d'apprentissage nouveau genre, mais également un lieu d'échanges et de rencontres. (p. 31)

Ainsi, ces outils ne peuvent être vus simplement comme des outils provenant du domaine des sciences et technologies, mais plutôt comme TIC que l'enseignant, peu importe sa discipline, peut décider d'intégrer dans sa classe. La prochaine section portera sur les différents facteurs qui pourraient influencer un enseignant à vouloir intégrer ces technologies dans sa classe.

2.4 Les facteurs influençant l'intégration des TIC

L'intégration des technologies de fabrication numérique en classe peut être analysée du point de vue de l'implantation d'une innovation.

Selon Villeneuve, Karsenti et Collin (2013), trois facteurs prédominants facilitent l'intégration des TIC : l'opportunité de se développer professionnellement, les politiques sur l'usage des TIC en éducation et l'organisation du travail.

Pour le premier facteur, plus un enseignant a des opportunités différentes de se former professionnellement, plus il est en mesure d'intégrer les TIC dans son travail quotidien. Ainsi, un enseignant qui souhaite intégrer des outils de fabrication numérique dans sa classe doit pouvoir se former dans le domaine.

Pour le second facteur, des politiques encadrant l'intégration des TIC font en sorte que plus d'enseignants utilisent ces outils. Il devient donc intéressant de voir si les enseignants qui utilisent les outils de fabrication le font en raison d'incitatifs, soit au niveau gouvernemental, de la commission scolaire ou encore de l'école.

Le troisième facteur, quant à lui, consiste à prendre en considération le temps nécessaire pour l'enseignant afin de pouvoir intégrer les TIC dans sa classe. Encore là, le manque de temps pourra être un frein à l'implantation des outils de fabrication numérique dans les classes du secondaire.

2.5 Les objectifs de l'essai

Considérant les deux questions énoncées au chapitre précédent et le développement de la compétence professionnelle du futur enseignant, l'objectif général suivant est formulé :

Recenser les pratiques des enseignants quant à l'utilisation des outils de fabrication numérique dans les classes de science et technologie.

À la suite de cet objectif général, deux objectifs spécifiques en découlent soient :

1. Identifier la pertinence et la portée pédagogique et didactique de l'utilisation des outils de fabrication numérique en classe.
2. Identifier les défis d'utiliser de tels outils dans les classes de science et technologie.

Dans le prochain chapitre, la méthodologie employée afin d'atteindre ces différents objectifs sera élaborée.

CHAPITRE III – MÉTHODOLOGIE

Cette section présente les différents aspects de la méthodologie dans le cadre de notre intervention incluant l'approche, le contexte de l'expérimentation, les outils de récolte de données ainsi que la manière dont elles sont analysées.

3.1 L'approche méthodologique

La méthodologie utilisée se rapproche d'une recherche phénoménologique. En effet, cette méthode vise la compréhension et la description de l'expérience humaine. Dans le cas présent, l'expérience humaine sera celle de l'utilisation en classe de secondaire des technologies de fabrication numérique par les enseignants. La récolte de données se fait auprès des personnes qui ont vécu l'expérience concernée. Cela vise donc à décrire le sens de cette expérience et la signification que les enseignants leur accordent. Le récit phénoménologique nécessite de rendre compte le plus fidèlement possible de l'expression du participant en créant un résumé le plus descriptif possible. Le récit phénoménologique permet de « proposer à l'issue des entrevues un tout cohérent, dynamique et chargé de l'expérience des participants » (Balleux, 2007, p. 419).

Afin de documenter la pertinence et la portée pédagogique et didactique ainsi que les défis entourant l'intégration des outils de fabrication numérique en classe de science et technologie, l'approche méthodologique utilisée sera celle de répertoire de pratiques.

L'approche méthodologique de répertoire de pratiques, comme proposée par Paillé (2007), comprend six étapes : « 1. Délimitation de l'aire couverte, 2. Détermination des axes typologiques, 3. Recueil/Observation, 4. Classification, 5. Approfondissement selon les axes typologiques, 6. Schématisation et finalisation »

À la première étape, il faut délimiter l'aire couverte par le projet d'essai. Pour ce faire, une première communication sera faite afin de connaître quels enseignants utilisent des outils de fabrication numérique (imprimante 3D, découpeuse laser, machine à commande numérique par ordinateur (CNC)) en classe de science et technologie ou sont

éventuellement intéressés à en utiliser. L'objectif étant d'avoir un échantillon de 5 à 10 enseignants et que des pratiques diversifiées puissent en ressortir. Il est en effet fort probable que de multiples utilisations se fassent en classe dans des contextes très différents. Une visite sur le site Web du Fab Lab de la commission scolaire Marguerite-Bourgeoys (<http://fablab.servicescsmb.com/matieres/science-et-technologie/>) montre que certains enseignants utilisent l'imprimante 3D pour modéliser un crâne d'oiseau afin d'étudier les adaptations morphologiques. Dans un autre cas, des élèves ont réalisé un projet en technologie où ils devaient fabriquer un objet de leur choix, par exemple un séchoir à ongles découpé au laser. Selon l'univers enseigné (vivant, matériel, terre et espace, technologie), des pratiques différentes en ressortiront et donneront un meilleur portrait de l'utilisation des outils de fabrication numérique.

Ensuite, il est proposé par l'approche de déterminer des axes typologiques afin d'éviter de s'acheminer vers une représentation linéaire de pratiques. Ainsi, des entrevues semi-dirigées amènent l'enseignant à s'exprimer sur ses pratiques lorsqu'ils utilisent des outils de fabrication numérique. Des entrevues semi-dirigées sont réalisées car elles visent à bien expliquer l'univers de l'autre et amènent un contact direct et personnel avec l'interviewé. Puisque cet essai cherche à explorer le sens que se font les enseignants du phénomène donné, soit l'intégration des outils de fabrication numérique en classe, l'entrevue semi-dirigée est tout à fait appropriée (Savoie-Zajc, 2009). Plus précisément, l'enseignant est appelé à s'exprimer sur sa définition d'un outil de fabrication numérique, sur son cheminement professionnel quant à l'utilisation de ces outils en classe ainsi que sur son positionnement par rapport au rôle, aux avantages et à l'influence de technologies de fabrication numérique dans la classe. Ces entrevues sont enregistrées pour la réalisation d'une retranscription papier à des fins d'analyse.

À la troisième étape, le recueil consiste en la retranscription papier verbatim des différentes entrevues. Le propos des participants est retranscrit sur papier pour une analyse subséquente. Les étapes 4, 5 et 6 consistent quant à elles à l'analyse des données. Pour ce

faire, le processus suivi de plus près est celui proposé par Fortin et Gagnon (2010) pour une étude phénoménologique :

1. Lire attentivement toutes les descriptions des comptes rendus intégraux; 2. Isoler les phrases qui sont directement liées au phénomène; 3. Dégager la signification de chaque énoncé important qui apparaît dans les phrases; 4. Regrouper les segments qui contiennent des significations similaires importantes (thèmes); 5. Fournir une description exhaustive qui rend compte de l'essence du phénomène. (p. 277)

3.2 Le contexte de la recherche

La Maîtrise en enseignement au secondaire profil science et technologie offerte par l'Université du Québec à Trois-Rivières vise la formation d'enseignants. Pour ce faire, le programme est axé sur plusieurs cours et deux stages en pratique enseignante. Finalement, elle exige de l'étudiant qu'il réalise un travail d'essai visant un développement professionnel du chercheur.

3.3 Les participants à la recherche

Selon Fortin et Gagnon (2016), les données recueillies pour une étude phénoménologique se font auprès d'un petit groupe de personnes, soient de 1 à 10 participants qui ont vécu le phénomène recherché. Dans ce cas, 10 enseignants ont été choisis selon certains critères énumérés plus bas.

Les enseignants ont été approchés par l'envoi d'un message sur la page Facebook « Enseignants et enseignantes du Québec » qui regroupe près de 25 000 enseignants provenant de partout au Québec. Un message à l'attention de tous a été partagé afin de connaître le nom d'enseignants et enseignantes qui utilisent des outils de fabrication numérique (imprimantes 3D, par exemple) dans les classes de S&T et qui seraient potentiellement intéressés à participer à une entrevue sur le sujet à des fins de recherche. 13 enseignants se sont manifestés et ont été contactés individuellement afin de s'assurer de leur éligibilité à l'entrevue. Parmi ces enseignants, ceux retenus l'ont été selon ces critères d'inclusion :

1. Doit avoir enseigné au secondaire dans les cinq dernières années.

2. Doit avoir utilisé un outil de fabrication numérique dans un contexte de classe.

À la suite de cette étape, 10 enseignants qui respectaient ces critères ont été retenus. Une date, une heure et un endroit ont été déterminées auprès de ces enseignants pour la tenue de l'entrevue qui se déroulait dans les écoles des enseignants à chaque fois.

3.4 La récolte de données

Selon Fortin et Gagnon (2016), l'entrevue est le moyen privilégié pour connaître l'autre. Puisque l'objectif est de documenter des pratiques d'enseignants quant à l'utilisation d'outils de fabrication numérique, une entrevue est pertinente pour mieux comprendre les raisons qui amènent ces enseignants à intégrer ceux-ci dans leur enseignement.

Des entrevues semi-dirigées sont donc réalisées auprès des enseignants choisis précédemment. L'un des postulats de l'entrevue semi-dirigée est que la perspective de l'autre a du sens (Savoie-Zajc, 2009). Cela se fait comme une interaction verbale entre le chercheur et l'enseignant qui intègre les outils de fabrication numérique dans sa classe. Cette interaction permet notamment d'apprendre sur le monde de l'enseignant interviewé. L'entrevue ne consiste pas à une liste de questions prédéterminées qui limiteraient les réponses au monde que le chercheur se crée préalablement à l'entrevue. En effet, dans l'entrevue semi-dirigée, le chercheur établit une liste des sujets à aborder et les questions sont posées au moment qu'il considère approprié permettant à l'interviewé d'exprimer ses sentiments et opinions sur le sujet traité (Fortin et Gagnon, 2016).

Le schéma d'entrevue est constitué d'un aide-mémoire des principaux thèmes qui seront abordés. Des questions sont tout même formulées afin d'approfondir les trois thèmes choisis (voir Appendice A).

3.5 L'analyse des données

Une transcription « verbatim » mot à mot des entrevues sera réalisée afin que les données puissent être analysées plus finement.

L'analyse des données se fait selon le processus énoncé précédemment pour une étude phénoménologique proposé par Fortin et Gagnon (2016). En premier lieu, une extraction des énoncés significatifs en lien avec l'utilisation des outils de fabrication numérique est réalisée par une lecture de l'ensemble des transcriptions. En second lieu, chacun de ces énoncés est résumé par des termes plus significatifs. En troisième lieu, un regroupement par thème est réalisé selon les différents cas d'utilisation des outils de fabrication numérique. En dernier lieu, une description exhaustive de chacun des thèmes vient compléter le tout afin de faire état du phénomène à l'étude.

Finalement, parmi les dix descriptions des enseignants, trois descriptions d'enseignants ont été retirées afin de retirer les éléments redondants à travers les différents propos.

CHAPITRE IV – RÉSULTATS ET ANALYSE

Ce chapitre présente les principaux résultats découlant des entrevues semi-dirigées réalisées auprès de 10 participants, des enseignants du secondaire en science et technologie. Pour ce faire, des énoncés significatifs ont été retenus des entrevues retranscrites au « verbatim », pour ensuite être résumés et classés en fonction des objectifs de cet essai, soit d'identifier la pertinence et la portée pédagogique et didactique ainsi que les défis d'utiliser les outils de fabrication numérique dans les classes de science et technologie au secondaire. Finalement, les propos de trois participants ont été retirés puisqu'ils n'apportent rien de nouveau ce qui correspond à une sorte de saturation des données.

4.1 Le portrait du participant 1

Le premier participant réalise une SAÉ en utilisant les imprimantes 3D qui s'échelonne sur quelques mois dans le cadre du cours "Application technologiques et scientifiques" en 4^e secondaire. Le projet réalisé par cet enseignant avec ses élèves consiste à faire du dessin assisté par ordinateur pour concevoir une lampe de poche. Après avoir été introduit au logiciel de dessin, chaque élève dessine sa propre lampe de poche qui est ensuite imprimée en 3D. Étant donné qu'il y a près de 130 élèves qui réalisent le même projet dans l'école et que chacun a sa lampe de poche, la période d'impression dure trois mois. À la fin du projet, les notions d'électricité et d'ingénierie électrique sont couvertes et le montage de la lampe de poche est réalisé.

4.1.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique

Grâce à l'imprimante 3D, des projets plus créatifs peuvent avoir lieu en classe. En effet, pour l'enseignant, c'est beaucoup plus valorisant que si l'ensemble des élèves avaient le même modèle de lampe de poche. Également, l'enseignant note que les objets réalisés par les élèves ne pourraient être fabriqués autrement en utilisant d'autres outils plus traditionnels.

Le dessin assisté par ordinateur et l'utilisation de l'imprimante 3D amènent l'élève à mettre en œuvre un esprit de créativité dans la réalisation de leurs projets. En effet, en utilisant cet outil, chaque élève peut avoir une version différente de sa lampe de poche. Le dessin assisté par ordinateur rend l'enseignement moins magistral, avec plus de contributions de l'élève aux dires de l'enseignant.

Selon l'enseignant, tout le monde va avoir ces outils dans 5 à 15 ans, cela va devenir aussi commun qu'une imprimante au jet d'encre, autant à la maison que sur le marché du travail. Dans cette perspective, il est important de l'enseigner aux élèves.

4.1.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique

Le principal défi soulevé par le participant 1 est le fait de donner accès aux outils de fabrication numérique aux élèves. Étant donné qu'ils n'ont que deux imprimantes 3D et que le temps d'impression est plutôt long, il est difficile de donner cet accès aux élèves. Pour le moment, ce sont les enseignants et les techniciens en travaux pratiques qui réalisent les impressions. Néanmoins, l'école a acheté six nouvelles imprimantes, cela devrait faciliter la gestion du temps pour l'impression, ils n'auront plus à décaler leur projet de trois mois. Cela donnera la latitude pour pouvoir enseigner aux élèves à utiliser les imprimantes 3D, retirant ainsi du temps de travail aux enseignants et aux techniciens. Il faudra toutefois être plus vigilant et rigoureux sur l'entretien et la maintenance des imprimantes.

Le participant note également qu'il aurait été intéressant d'avoir plus de formations avant de se lancer. L'enseignant note que la première année a été plus difficile car plusieurs questions des élèves étaient plus difficiles à répondre. Il serait aussi pertinent que plus de formations soient offertes. Néanmoins, l'enseignant note qu'elles devraient se donner à l'école puisque chaque école a des outils différents et qu'il est toujours mieux de que les enseignants se fassent former sur ses propres outils.

4.2 Le portrait du participant 2

Le deuxième participant enseigne en 3^e secondaire un cours de spécialisation en robotique ainsi qu'un second appelé "Applications technologiques et scientifiques" ou ATS. À travers ses cours, il utilise fréquemment les six imprimantes 3D disponibles pour imprimer des pièces. Par exemple, pour le cours d'ATS, l'enseignant imprime des objets qui pourront être analysés afin de mieux se préparer pour l'analyse d'objets technologiques. Pour le cours de robotique, les élèves doivent réaliser un projet personnel et sont appelés à utiliser les outils de fabrication numérique ainsi que les outils traditionnels. Les élèves doivent également imprimer des morceaux de robots à quelques reprises au cours de l'année scolaire.

4.2.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique

L'enseignement en classe est beaucoup plus axé sur le dessin assisté par ordinateur que sur l'utilisation de l'imprimante 3D. En effet, l'enseignant considère que, peu importe la machine, l'important c'est la démarche qui vient avec ces outils. Les élèves font le dessin et les pièces sont ensuite fabriquées. Le travail se fait ainsi devant l'écran, c'est cet aspect qui a réellement une valeur pour l'élève quant à ses apprentissages.

Pour la réalisation d'un projet de châssis de robot, les élèves avaient à thermoformer de la mousse PVC. Or, les élèves n'avaient pas les habiletés requises pour réaliser une fabrication avec précision, ce qui donnait un mauvais résultat. Le fait de passer à un environnement numérique donne la possibilité aux élèves de voir à l'écran les problèmes et les élèves sont meilleurs pour les identifier à l'ordinateur. Cela a permis de régler les problèmes qu'ils avaient. De plus, la concentration en robotique à l'école amène le besoin de fabriquer de petites pièces avec des formes complexes. L'imprimante 3D est tout indiquée pour ce genre de travail.

Souvent, les projets réalisés en univers technologique sont des projets où les élèves doivent tous suivre la même gamme de fabrication pour arriver au même objet. Pour cet enseignant, cela est même « abrutissant » pour l'élève et, donc, si les élèves ne font plus ce genre de projets, l'enseignant est en mesure de mettre en place un environnement

beaucoup plus stimulant pour le jeune qui peut avoir la fierté d'avoir créé un objet unique et personnel. En effet, l'imprimante 3D amène l'élève à créer des prototypes uniques rendant possible le fait que chaque élève exprime plus de créativité dans son projet.

4.2.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique

Pour cet enseignant, le défi est principalement organisationnel, c'est-à-dire comment imprimer une grande quantité de projets avec des machines qui ne sont pas très rapides. L'an prochain l'ensemble des élèves de l'école vont faire de l'ATS. Ce seront donc 200 élèves qui vont faire du dessin 3D. Cela nécessitera de prendre des décisions sur l'achat de matériel ou sur la réduction du temps d'impression pour rendre les outils accessibles à tout le monde.

L'imprimante 3D amène également plus de travail puisque la machine doit être supervisée et les problèmes réglés. Chacune de leurs machines a près de 2 000 heures d'impression. Lorsque deux projets sont imprimés pour une centaine de jeunes, beaucoup de plastique est utilisé et le temps d'impression est très long.

Autrement, la formation n'est pas un défi pour cet enseignant, il note toutefois que le frein principal à l'implantation de l'imprimante 3D, c'est la crainte de l'enseignant qui n'est pas l'expert. L'enseignant qui ne se sent pas expert va avoir peur d'utiliser l'imprimante 3D en classe. Or, pour cet enseignant, il s'agit d'ouvrir la porte et de s'assurer que les élèves ne brisent rien.

4.3 Le portrait du participant 3

Cet enseignant a utilisé des outils de fabrication numérique dans les cours de science et technologie en 1^{ère} et 2^e secondaire; l'école possédant sept imprimantes 3D, une découpeuse laser, une découpeuse vinyle, une brodeuse numérique, une petite CNC et une grosse CNC.

La première chose qu'il fait avec ses élèves est de faire un cours d'introduction au dessin 3D. Cela consiste à introduire les concepts en lien avec le logiciel utilisé. Les premiers projets demandés sont plus des dessins qui ne sont pas imprimés, par exemple une

chaise, un cube, un dé à jouer. Le premier projet imprimé par les élèves, c'est un support à téléphone. Après, ils refont à peu près la même chose à l'aide de la découpeuse laser, mais en bois en jumelant le tout à du dessin vectoriel.

Ensuite, ils vont avoir un projet de toupie à réaliser. L'enseignant demande aux élèves ce qui influence le temps de rotation d'une toupie pour que ça tourne le plus longtemps possible. Ils doivent alors faire plusieurs modèles de toupies et trouver les facteurs qui influencent la durée de rotation. Ils intègrent cela dans un contexte de résolution de problèmes où ils doivent émettre une hypothèse, saisir des données, etc. En plus de la forme, les élèves jouent également sur le taux de remplissage et la densité de la toupie. Les élèves suivent donc une démarche scientifique, mais dans un contexte d'utilisation des outils de fabrication numériques.

Plus tard, ils utilisent les outils de fabrication numérique, mais dans le cadre des projets de technologie, par exemple, pour le défi génie inventif. Néanmoins, ils sont libres d'utiliser l'atelier de fabrication numérique³ ou l'atelier de technologie⁴. Le but étant de les amener à ce que ces outils les aident à résoudre leurs problèmes.

Un projet qu'il réalise en 2^e secondaire consiste en la conception d'une voiture propulsée par une trappe à souris avec un bras de levier. Encore là, les élèves doivent mettre en œuvre la démarche scientifique et peuvent utiliser les outils qu'ils veulent. Ce projet se déroule sur quatre périodes. En une période, ils ont fini leur dessin, à la deuxième période, ils assemblent leur projet et lors des deux cours suivants, ils font des tests, des correctifs et rédigent leurs rapports.

4.3.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique

Selon l'enseignant, il est important de trouver les valeurs pédagogiques dans l'utilisation de ces outils. Il faut pouvoir amener des concepts scientifiques et faciliter la compréhension de ces concepts.

³ Atelier où l'on retrouve des outils de fabrication numérique, contrôlés par ordinateur.

⁴ Atelier où l'on retrouve des outils opérés à la main.

Premièrement, l'un des principaux avantages notés par l'enseignant est qu'il est plus rapide d'arriver à un prototype dans un Fab Lab que dans un atelier de technologie et que c'est donc plus rapide de faire plusieurs prototypes. Leur base de voiture pour le défi génie inventif est plus laborieux dans l'atelier de technologie traditionnel et les élèves ont tendance à abandonner plus rapidement, alors que de faire des modifications au dessin assisté par ordinateur et simplement relancer l'imprimante 3D ou la découpeuse laser est plus facilitant.

De plus, il y a un gain de temps que se fait avec les outils de fabrication numérique rendant possible de multiples itérations, ce qui était moins possible dans l'atelier de technologie.

4.3.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique

Pour l'enseignant, ce qui a été le plus difficile, c'est de se former: Au départ de régler les problèmes techniques des machines et ensuite de se questionner quant à la façon d'intégrer cela en classe. L'aspect logistique amène aussi un défi, de trouver une façon de faire pour que ce soit efficace en classe et que les outils ne soient pas endommagés. Le temps d'attente pour l'accès aux machines est une contrainte également. L'enseignant note qu'avec la découpeuse laser, les temps de découpe sont moins longs, mais il n'y a qu'une seule machine. Il faut donc que l'enseignant prévoit des tâches pour combler les temps d'attente imposés par les outils.

Ce qui a été difficile aussi pour l'enseignant, c'est d'amener de la créativité de la part des élèves, ils vont avoir tendance à répéter ce qui fonctionne bien chez les autres élèves. Selon l'enseignant, les élèves sont programmées à fournir une bonne réponse à un problème, donc ils sont habitués à être moins créatifs, les solutions sont souvent homogènes entre les élèves.

Fréquemment, les élèves perçoivent l'erreur comme un échec dans ces projets, c'est un travail constant de l'enseignant afin de surmonter cette perception de l'erreur et la transformer en potentiel plutôt qu'en fatalité. Les élèves vont par exemple avoir une

crainte que leur dessin 3D ne puisse être imprimé et ne vont pas essayer de l'imprimer et risquer de faire une erreur. Pour l'enseignant, cela les sort de leur zone de confort.

4.4 Le portrait du participant 4

Le cours donné par cet enseignant est considéré comme « maison » dans le cadre d'une concentration science en 2^e secondaire. Sans évaluations ou programmes associés, cela donne une grande flexibilité dans l'organisation du cours. L'utilisation des outils de fabrication numérique dans cette école reste très marginale, ils ont pour le moment deux imprimantes 3D.

Les imprimantes 3D ont été utilisées à deux occasions. La première était pour faire des moules de bougie et la deuxième pour des moules à chocolat. Ces projets étaient dans l'objectif de voir comment les imprimantes 3D peuvent être utilisées. La réalisation du projet avec l'imprimante 3D se faisait sur quatre cours. Le premier cours consiste en une introduction au dessin assisté par ordinateur selon une approche très dirigée. À la fin, ils avaient deux périodes où ils pouvaient faire ce qu'ils voulaient une fois qu'ils avaient les bases.

4.4.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique

Pour l'enseignant, l'expérience a été positive, mais la bonne façon de faire n'a pas encore été trouvée pour intégrer ces outils en classe. Ces outils seraient pertinents à utiliser en classe, mais dans un contexte multidisciplinaire étant donné que le temps nécessaire pour l'intégration de ces outils est trop grand dans un programme très chargé. Cet enseignant voit bien le maillage possible avec le cours de mathématique, et notamment le cours d'art.

4.4.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique

Pour cet enseignant, le principal nerf de la guerre dans l'utilisation des outils de fabrication numérique, c'est l'investissement de temps pour les élèves et pour lui-même comme enseignant. Pour que ça en vaille la peine, il faut soit qu'on condense beaucoup de matière au risque que la matière soit mal assimilée, ou se limiter à une petite partie de

matière où, dans ce cas, l'investissement de temps par rapport aux apprentissages faits n'est pas nécessairement efficace. De plus, les élèves ont tendance à voir ça plus comme un divertissement que comme un outil de transfert des connaissances, il y a un équilibre à trouver pour que l'intégration soit possible. Soit que les projets donnent peu de liberté, cela devient alors restrictif sur le degré de créativité qui peut être réalisé, soit les projets donnent beaucoup de liberté, les élèves n'arrivent alors pas à suivre les multiples consignes énoncées.

Le participant note que c'est compliqué au niveau logistique, avec un groupe de trente élèves pour deux imprimantes 3D. D'une part, les classes sont parfois très déséquilibrées quant aux compétences en dessin 3D, il faut donc avoir un projet avec un bon degré de liberté pour que les élèves puissent progresser à leur rythme. D'autre part, le temps d'impression est un enjeu, lorsqu'un groupe est composé de plusieurs élèves ceux-ci augmentant proportionnellement au nombre d'élèves, cela pouvant ainsi être problématique en grand groupe.

4.5 Le portrait du participant 5

Le participant 5 enseigne en science et technologie en 4^e secondaire dans un programme science qui ajoute deux périodes par cycle. Ce programme science rend possible la réalisation de projet de plus, comme l'utilisation des outils de fabrication numérique. C'était la première année que cet enseignant faisait un projet avec l'imprimante 3D. Le projet réalisé, celui d'une lampe de poche, se réalisait sur cinq périodes. Les élèves devaient concevoir un boîtier de lampe de poche en équipe de deux. Un élève réalisait le boîtier et l'autre le couvercle, et ils devaient s'arranger pour que les deux s'emboîtent. Les enseignants donnaient un cahier des charges avec certaines contraintes. C'était un projet qui était réalisé avant l'arrivée des imprimantes 3D dans l'école. Dans le futur, l'intention est de ne pas imposer de machine, les élèves vont décider du matériel et de la machine à utiliser, peut-être une combinaison d'outils traditionnels et d'outils de fabrication numérique. Ils vont faire des petits projets pour explorer l'utilisation des machines, mais ensuite les élèves auront la liberté d'utiliser l'outil qu'ils

veulent. Une découpeuse laser a récemment été achetée par l'école, mais n'est pas encore utilisée dans un contexte de classe.

4.4.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique

L'utilisation des outils de fabrication numérique s'inscrit principalement dans l'univers technologique. Par exemple de concevoir des engrenages, concevoir des pivots, concevoir des objets qui sont capables de respecter l'ingénierie mécanique.

Ils ne vont presque plus dans l'atelier de machines-outils pour la réalisation des projets et se concentrent sur le dessin assisté par ordinateur. Pour cet enseignant, c'est d'aller vers le futur puisque, dans les usines, c'est de plus en plus numérique, c'est donc davantage important de former les élèves pour qu'ils soient aptes de travailler avec des ordinateurs, à programmer, à utiliser ce genre d'outils.

De plus, les outils de fabrication numérique sont beaucoup plus précis que les outils traditionnels donnant la possibilité de fabriquer des objets avec un fini beaucoup plus intéressant. Ils doivent quand même faire attention à faire un bon dessin, mais cela enlève l'aspect des habiletés manuelles, et permet plutôt de se concentrer sur les habiletés numériques.

4.5.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique

Pour le moment, les élèves n'utilisent pas les imprimantes 3D, car elles sont trop complexes à utiliser. Avec la découpeuse laser, l'intention est toutefois de laisser les élèves l'utiliser.

Pour un boîtier de lampe de poche, la durée d'impression était d'entre une heure et une heure demi. Le temps d'impression pour 24 équipes a été d'une semaine pour l'ensemble des boîtiers. Ce temps empêche les élèves de pouvoir faire des corrections sur leur design. La question que se pose cet enseignant est aussi à savoir comment faire un projet en équipe de deux, puisque deux personnes ne peuvent pas travailler en même temps sur le même dessin technique. Le défi est donc de s'assurer que tous soient occupés dans la réalisation de projets avec ces outils.

4.6 Le portrait du participant 6

Dans cette école, l'enseignant utilise les outils de fabrication numérique en 4^e secondaire pour ses groupes de ST et STE depuis deux ans, principalement des imprimantes 3D qu'ils possèdent en dix unités.

Ils font un projet de lampe de poche. Dans la première partie du projet, l'enseignant fournit aux élèves les fichiers des principales composantes de la lampe de poche et les impriment. Dans une deuxième partie, l'enseignant leur remet un plan papier d'un support de la lampe et ils doivent reproduire la pièce, le personnaliser pour ensuite l'imprimer. Il le fait ainsi car, en 4^e secondaire, ils n'ont pas le temps de faire un projet ouvert à cause du programme déjà chargé.

En début d'année, l'enseignant présente l'imprimante 3D aux élèves en disant qu'ils vont imprimer la lampe de poche pour les mettre immédiatement en contact avec l'imprimante 3D, que l'enseignant définit comme le « bonbon », et voir comment elle fonctionne. À chaque cours, une dizaine d'élèves vont avec le technicien pour imprimer leur lampe de poche. En trois cours, toutes les lampes de poche sont prêtes.

L'impression pour la lampe de poche est de trois heures. Elle est composée de trois pièces, soit le boîtier, le couvercle et une attache à l'intérieur. Ils impriment ces trois pièces au départ. Ils font aussi un circuit électrique et une analyse du rendement énergétique. Ils font aussi une petite analyse technologique car il y a des liaisons-guidages dans cet objet.

Plus tard dans l'année scolaire, ils font deux périodes d'introduction au logiciel de dessin où ils dessinent un dé. Ensuite, sur deux cours, l'enseignant remet le plan du support de lampe de poche, qu'ils doivent reproduire et ensuite personnaliser, certains élèves vont mettre leur nom, d'autres des dessins extrudés. Ils font ensuite l'impression eux-mêmes puisqu'ils l'ont appris en début d'année scolaire. Finalement, en deux périodes, ils assemblent le circuit et la lampe de poche.

4.6.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique

Pour cet enseignant, il est important de développer les compétences en dessin assisté par ordinateur puisque ces outils sont de plus en plus présents sur le marché du travail. De plus, les outils de dessin assisté par ordinateur et les imprimantes 3D sont très accessibles pour les écoles.

Le dessin assisté par ordinateur et l'impression 3D amènent l'élève à créer un objet unique à lui-même. Voir l'objet à l'écran en 3D aide les élèves dans leur compréhension des différentes vues du dessin technique. Selon l'enseignant, même si l'élève a des difficultés en dessin ou n'est pas très à l'aise avec le travail manuel, il va pouvoir arriver à un produit final de qualité en utilisant le dessin assisté par ordinateur, il va être beaucoup plus fier de le montrer à son entourage. Il y a donc un sentiment d'accomplissement plus grand.

Pour l'enseignant, l'imprimante 3D n'est que le « bonbon » pour l'élève, qui permet de le motiver à faire du dessin assisté par ordinateur, ce n'est que la machine qui fonctionne. Pour lui, il n'y a donc pas d'apprentissage dans l'impression 3D, l'enseignant devrait donc prioriser le dessin assisté par ordinateur dans ses projets.

Le mieux pour intégrer ces outils, c'est de remplacer une petite partie d'un projet qu'on réalise déjà et de la « faire » avec du dessin assisté par ordinateur et l'utilisation d'outils de fabrication numérique.

4.6.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique

Au départ, les enseignants de cette école n'avaient accès qu'à une seule imprimante 3D qu'ils avaient gagnée dans un concours, c'était difficile à intégrer en classe, car il fallait faire un horaire d'impression sur l'heure du midi et les élèves ne venaient pas. Pour optimiser le temps, les enseignants et les techniciens de laboratoire imprimaient à la place des élèves. Cet enseignant recommande donc d'acheter plusieurs imprimantes 3D moins dispendieuses plutôt qu'une seule plus performante, mais plus dispendieuse.

Lorsque la première imprimante 3D est arrivée dans cette école, il a fallu entre 20 et 40 heures de travail pour bien comprendre la machine. Maintenant, il la comprend assez bien. Selon cet enseignant, c'est ce qui pourrait décourager certains enseignants. Il est donc important d'avoir de la libération pour apprendre à utiliser ce genre de machines.

4.7 Le portrait du participant 7

Cet enseignant donne un cours en option spécifique pour l'utilisation des outils de fabrication numérique en 2^e secondaire. Ils ont sept imprimantes 3D, une découpeuse laser, une découpeuse vinyle, une brodeuse numérique, une grosse CNC et une petit CNC.

Au début de l'année, il a réalisé de petits projets avec les élèves pour les amener à se familiariser avec les logiciels et les machines. Vers la moitié de l'année, c'est un plus gros projet qui s'est fait où les élèves sont plus libres de choisir ce qu'ils voulaient faire. Au départ, il présentait les logiciels de dessin assisté par ordinateur pour pratiquer les différentes fonctionnalités. Après avoir apprivoisé les logiciels, ils ont appris à se servir de l'imprimante 3D et de la découpeuse laser. Par exemple, le premier projet réalisé consistait en un petit médaillon découpé au laser que l'élève pouvait ramener avec lui.

Il n'y a pas de lien directement avec le cours de science et technologie malgré le fait que nécessairement il y a des concepts en lien avec la conception d'objets. Autrement, c'est l'enseignant qui décide du contenu du cours. Les élèves apprennent plus à utiliser les logiciels qu'à faire un dessin technique. Malgré tout, lorsque l'élève conçoit un objet, il fait une démarche de résolution de problèmes scientifiques. Il doit revenir en arrière, réfléchir à ce qu'il a fait et à ce qu'il doit faire pour résoudre le problème.

4.7.1 La pertinence et la portée pédagogique et didactique

L'enseignant a premièrement remarqué qu'il y avait un intérêt fort de la part des élèves pour les outils de fabrication numérique, ils ont la chance de pouvoir jouer avec des outils qu'ils ne pourraient pas rencontrer ailleurs. Les outils de fabrication numérique sont un peu plus proches de la réalité, cela permet d'aller chercher l'intérêt des élèves. Lorsqu'ils font des projets dans l'atelier de machines-outils où tout le monde fait le même

projet, les élèves n'ont pas tant envie de repartir avec leur projet. Toutefois, ils sont beaucoup plus intéressés à ramener à la maison les projets réalisés avec les outils de fabrication numérique

Le produit fini est beaucoup plus intéressant, beaucoup « plus parlant » et davantage complet, étant donné qu'il y a plus de possibilités avec ces outils qu'avec les outils utilisés dans l'atelier de machines-outils.

4.7.2 Les défis de l'intégration des outils de fabrication numérique

Bien que ce participant à l'étude soit un enseignant de S&T, il n'utilise pas les outils de fabrication numérique dans le cadre de ses cours réguliers en 1^{ère} secondaire. En effet, il considère ne pas avoir le temps et que la composition des groupes rendrait la gestion de classe trop difficile en atelier de fabrication numérique, les groupes étant composés de beaucoup d'élèves éprouvant des difficultés.

Il trouve que le manque de temps est flagrant dans les tâches, ce qui est un frein à l'intégration des outils de fabrication numériques. Pour lui, il est à peu près impossible, dans le contexte actuel, de concevoir des activités avec des plateformes inconnues.

Les contraintes de base qu'il voit sont la vitesse des outils et le nombre d'outils étant donné leur coût. Néanmoins, il n'a pas de problème où il y a trop d'élèves sur les outils étant donné que chaque élève a son propre petit projet. Finalement, pour cet enseignant, il est mieux de rester avec de petits projets étant donné que les élèves ont tendance à se décourager lorsqu'ils ne voient pas de résultats concrets (Gagnon, 2015).

4.8 Un retour sur les questions de recherche

Dans le cadre de cet essai, j'ai répondu à mes deux questions de recherche, soit « Dans quels objectifs les enseignants de science et technologie utilisent-ils des outils de fabrication numérique? » et « Quels sont les défis d'utiliser de tels outils dans les classes de science et technologie? ». Pour ce faire, j'ai réalisé des entrevues auprès de dix participants qui m'ont permis de documenter les pratiques en lien avec l'intégration des outils de fabrication numérique, plus spécifiquement l'imprimante 3D et ce, dans les cours

de S&T au secondaire. Les enregistrements de ces entrevues ont ensuite été retranscrits au verbatim pour ensuite être analysés; des énoncés significatifs en ont été soutirés pour ensuite être triés et résumés pour en dégager l'essentiel. Parmi ces dix entrevues, sept ont été retenus afin de retirer des éléments redondants.

Dans le prochain chapitre, cet essai met en évidence les éléments les plus importants qu'on peut soutirer de ces résultats pour pouvoir en discuter. Le chapitre se termine en indiquant les apports de cette démarche au plan professionnel ainsi que les limites de l'étude.

CHAPITRE V – DISCUSSION ET CONCLUSION

Au départ, dans ce projet d'essai, j'avais été très inspiré par les nouvelles pratiques de certains enseignants qui intégraient désormais l'univers technologique de façon très variée, que ce soit à travers la robotique ou la programmation. Puis, les problématiques de manque de main-d'œuvre dans les domaines des sciences naturelles et appliquées (Giordan, 2010), l'intérêt décroissant des jeunes à l'égard des science et technologie (Tanguay, 2012) et la crise environnementale m'ont aussi amené des questionnements sur la place de l'enseignement de l'univers technologique à l'école, des ateliers intégrant des outils de fabrication numérique (Fab Lab) permettant maintenant de concevoir rapidement des objets et, ce, localement. Ceci m'a amené, par ricochet, à m'intéresser à ces nouveaux outils (imprimantes 3D, découpeuses laser et CNC), et leur place dans les classes de S&T au secondaire. La démocratisation des ordinateurs dans les années 80 a permis à ces outils d'être très présents dans notre quotidien que ce soit à la maison et à l'école. Maintenant ces nouveaux outils de fabrication donnent la possible de matérialiser ce qui se passe sur notre écran en objet tangible auront peut-être cette même incidence sur nos vies dans le futur. Déjà, des écoles, comme celles de la CSMB (2015) mettent beaucoup l'accent sur les outils de fabrication numérique en mettant en place des Fab Labs complets dans leurs écoles primaires et secondaires. Ceci m'a amené à poser deux questions ayant guidé mon investigation : « Dans quels objectifs les enseignants de science et technologie utilisent-ils des outils de fabrication numérique? » et « Quels sont les défis d'utiliser de tels outils dans les classes de science et technologie? ».

5.1 L'interprétation et la discussion des résultats

Dans cette section, les principaux éléments qui ressortent des résultats sont détaillés et discutés. Premièrement, selon ce qui a été énoncé par les différents participants, les outils employés et leur contexte d'utilisation sont détaillée. Ensuite, les défis de l'intégration et les avantages des outils de fabrication numérique sont présentés.

5.1.1 L'imprimante 3D comme outil préconisé

Les outils de fabrication numérique disponibles pour les enseignants sont assez variés : imprimante 3D, découpeuse laser, découpeuse vinyle, découpeuse CNC et brodeuse numérique. Néanmoins, force est de constater que les imprimantes 3D sont beaucoup plus utilisées dans les écoles que les autres outils. Ceci est explicable entre autres par le fait que ces outils sont peu dispendieux; une école peut facilement s'équiper d'une imprimante 3D pour moins de 500 \$ alors qu'une découpeuse laser peut coûter plus de 10 000 \$.

La quantité d'outils constitue un facteur important par l'ensemble des participants comme étant un enjeu dans l'intégration de ceux-ci en classe. En effet, pour un fonctionnement des plus efficaces, il est hautement pertinent de multiplier le nombre d'outils plutôt que de choisir des outils plus performants, par exemple. Pour certains enseignants, un seul projet d'élève pouvait prendre jusqu'à deux heures d'impression. En multipliant le nombre d'outils, ceci permet d'accélérer le temps d'impression des élèves.

5.1.2 Les niveaux et contexte d'utilisation

Il a été remarqué que les participants à l'étude utilisent majoritairement les outils de fabrication numérique dans le cadre des cours de science de 4^e secondaire, plus particulièrement dans le cadre du cours d'ATS. Ceci peut s'expliquer facilement par le fait que le contenu au programme de ce cours est beaucoup plus de l'ordre de l'univers technologique. En effet, chaque enseignant interviewé dans cette étude utilisait ces outils pour enseigner les notions de l'univers technologique ou des notions s'en rapprochant.

De plus, quatre des enseignants qui utilisent l'imprimante 3D en 4^e secondaire l'emploient pour réaliser un projet de conception de lampe de poche. Chacun de ces enseignants a une version différente du projet. En effet, selon l'enseignant, les élèves avaient à concevoir l'ensemble de la lampe de poche ou seulement une partie, certains élèves apprenaient à utiliser l'imprimante 3D alors que dans d'autres cas, c'était les techniciens de laboratoire ou les enseignants qui s'occupaient de les imprimer.

5.1.3 La pertinence du dessin assisté par ordinateur

Pour la majorité des enseignants interviewés, ce qui a une réelle valeur pédagogique dans l'utilisation des outils de fabrication numérique, c'est beaucoup plus le dessin assisté par ordinateur que l'utilisation de l'outil en soi. En effet, l'élève va apprendre beaucoup plus sur la conception d'un objet technique et sur le dessin avec le dessin assisté par ordinateur. Bien que presque aucun de ces enseignants ne remette en question ces outils, il reste que pour eux, les outils de fabrication numérique permettent surtout de « matérialiser le design » des élèves et ainsi avoir une valeur ajoutée aux projets.

D'ailleurs, dans près de la moitié des cas, les élèves ne touchent pas aux outils de fabrication numérique; ce sont les enseignants ou les techniciens de laboratoire qui opèrent les machines. Cela montre bien que l'utilisation par les élèves de ces outils n'est pas toujours possible, soit pour des contraintes de temps en raison du nombre d'outils ou encore en raison de la peur de briser les outils.

5.1.4 L'itération dans les projets

Pour Blikstein (2013), les outils de fabrication numérique font en sorte que « plusieurs cycles d'itération dans le design peuvent être réalisés sur une même intervalle de temps (Traduction libre, p. 7) ». Or, malgré le fait que certains enseignants notaient que ces outils permettaient d'avoir plusieurs cycles d'itération, seulement le participant 1 appliquait réellement cette pratique en classe, et ce en 1^{ère} et 2^e secondaire. Pour plusieurs enseignants, la charge élevée du cours de 4^e secondaire ne donne pas assez de temps pour s'attarder longuement à l'utilisation des outils de fabrication numérique. Pourtant, plusieurs des participants ont noté qu'il était plus rapide de réaliser des projets avec les outils de fabrication qu'avec les machines-outils conventionnelles.

Ainsi, les enseignants appliquent toujours un modèle de design en « chute d'eau », c'est-à-dire que chaque étape mène à l'autre sans pouvoir retourner en arrière, ou du moins difficilement. Cette méthode est particulièrement utilisée lorsque les coûts et la complexité d'un projet l'obligent. Les modèles de design souvent utilisés aujourd'hui visent à pouvoir réaliser plusieurs itérations, et ce, rapidement. Ainsi, le modèle en spirale, et ses dérivés,

est celui souvent utilisé dans la conception en informatique et en ingénierie (Martinez et Stager, 2013).

5.1.5 Des projets plus libres

Pour certains enseignants interviewés, le fait de faire suivre aux élèves une gamme de fabrication⁵ pour que chaque élève arrive à un même produit homogène n'est pas intéressant pour eux. La plupart des enseignants font valoir leur intention future de se diriger vers des projets plus libres où les élèves peuvent choisir ce qu'ils vont réaliser. Pour les enseignants qui ont des cours optionnels spécifiques aux outils de fabrication numérique, cela est souvent déjà le cas. Par contre, du moment que le cours fait partie des parcours prescrits, les enseignants indiquent que les « projets plus libres » prennent plus de temps. Pourtant ces projets donnent l'occasion aux élèves de pouvoir concevoir et fabriquer des objets qui correspondent à leurs intérêts, ce qui correspond aux recommandations du CRIJEST (2013) en mettant un accent particulier sur l'importance des apprentissages axés sur la « vraie vie ».

De plus, selon Martinez et Stager (2013), l'enseignant n'est pas tant intéressé au produit final ou à ce que l'élève trouve une seule solution à un problème, mais plutôt au à la démarche empruntée ou au « chemin pris » pour y arriver. En donnant plus de liberté sur la façon de procéder dans un projet, des obstacles et des découvertes imprévues ont plus de chance de survenir, ceci étant plus proche de la réalité de l'ingénieur ou du concepteur de produits.

5.1.6 La formation des enseignants et le temps

La formation des enseignants et l'investissement en « temps » pour la réalisation de projets utilisant les outils de fabrication numérique ont clairement été mis en évidence comme étant des défis à l'intégration de ces outils.

⁵ « La gamme de fabrication est un document qui décrit, de façon détaillée, toute l'information technique nécessaire à la fabrication d'une pièce ou de l'ensemble des pièces d'un objet technique. » (Alloprof, s.d.)

Premièrement, le temps de formation semble constituer un enjeu pour plusieurs. Pour certains, les enseignants ont eu une libération de tâche pour pouvoir se former sur les outils. Néanmoins, ces formations se limitent à apprendre à se servir de l'outil, plutôt que pour développer des situations d'enseignement et d'apprentissage (SAÉ) intégrant ces outils. Et, même pour apprendre à se servir des outils, certains enseignants doivent faire les apprentissages en dehors de leur horaire de travail habituel.

En l'absence de politique éducationnelle gouvernementale sur l'implantation de ces outils, il est difficile de justifier la formation des enseignants pour un domaine donné. Cela correspond bien aux facteurs notés par Villeneuve, Karsenti et Collin (2013) soient : l'opportunité de se développer professionnellement, les politiques sur l'usage des TIC en éducation et l'organisation du travail.

On peut toutefois croire que les nouveaux investissements de 1,2 milliard de dollars pour l'ajout d'outils numériques (incluant des imprimantes 3D) dans les écoles du Québec (Chouinard, 2018) amèneront un changement de culture quant à la formation des enseignants pour l'implantation de ces outils en classe.

5.1.7 Un remplacement des ateliers de machine-outil

Plusieurs des enseignants rencontrés voient ces outils comme faisait partie du futur de notre société. Certains croient que, dans quelques années, ces outils seront même présents dans nos domiciles. De même, ils considèrent que les outils de fabrication numérique sont de plus en plus présents sur le marché du travail et ce, dans divers secteurs. Pourquoi faire du « dessin sur papier » alors que plus personne n'en fait dans l'industrie? Plusieurs enseignants interviewés justifient l'intégration de ces outils dans leur classe sur la base de ces constats.

Néanmoins, plusieurs s'entendent pour dire que les « compétences manuelles » à utiliser les outils plus traditionnelles, ou encore les machines-outils, restent essentielles. Ainsi, les outils de fabrication numérique seraient complémentaires aux machines-outils. Néanmoins, il reste que d'ajouter des nouveaux outils dans des écoles avec peu d'espaces

vacants et dans des programmes scolaires déjà très chargés nécessite toutefois de faire des choix quant aux outils priorisés dans l'école.

5.1.8 Un intérêt plus grand des élèves

Plusieurs enseignants ont noté l'intérêt que portaient les élèves pour les imprimantes 3D. En effet, plusieurs ont noté que les élèves étaient fascinés pour ces outils. Cela crée un effet stimulant. Néanmoins, il restait difficile pour certains enseignants d'aller au-delà de cet effet. Les élèves ont tendance à vouloir fabriquer des objets qu'ils retrouvent sur Internet, d'où l'importance de créer des projets qui dépassent le seul fait d'utiliser l'imprimante 3D. Pour Blikstein (2013), il est d'ailleurs crucial de s'éloigner du « syndrome du porte-clef », où les élèves ont tendance à vouloir répéter la création d'un objet esthétiquement beau, l'enseignant devrait donc s'éloigner des projets simples.

Il a été remarqué par au moins un participant que les filles avaient un intérêt plus grand pour les projets réalisés à l'aide des outils de fabrication numérique à cause de l'esthétique des objets fabriqués. Pour Kafai, Fields, et Searle (2014), le fait de diversifier les matériaux utilisés et de faire des liens entre des domaines traditionnellement masculins (informatique et ingénierie) et des domaines traditionnellement féminins (bricolage et couture) peut éveiller l'intérêt des filles pour les domaines des S&T. Les ateliers de fabrication numérique qui incluent normalement une brodeuse numérique et du matériel de sérigraphie pourraient potentiellement donner la place à des projets mélangeant encore plus les disciplines de fabrication.

5.2 Les apprentissages réalisés

Premièrement, l'intégration des outils de fabrication numérique peut facilement se faire en 4^e secondaire. Le projet de lampe de poche par exemple, largement utilisé ici, peut être facilement intégré dans une planification annuelle. Cependant, le programme déjà bien chargé de 4^e secondaire empêche que les élèves puissent réaliser un projet plus libre en utilisant les outils de fabrication numérique. Des projets plus libres auraient une valeur pédagogique plus grande en donneraient aux élèves la possibilité de concevoir et créer un objet qui correspond à leur intérêt.

Deuxièmement, il est important de prévoir les temps d'impression des projets que les élèves ont à réaliser. Cela peut se faire en réduisant la dimension du projet ou encore en augmentant le nombre d'outils. Ceci permet notamment aux élèves de pouvoir faire plusieurs itérations dans leur design afin d'effectuer des correctifs et améliorer ainsi leur produit final afin d'avoir un processus de design plus près de la réalité du technicien ou de l'ingénieur. Dans les choix d'achat, il est d'ailleurs préférable de se procurer plusieurs imprimantes 3D moins dispendieuses qu'une seule plus perfectionnée et plus chère. De même, l'utilisation d'une découpeuse laser plutôt que d'une imprimante 3D rend la fabrication plus rapide.

Troisièmement, il est important comme enseignant de se tenir au fait des dernières technologies afin que l'enseignement corresponde à ce qui se fait réellement dans la « vraie vie ». Par exemple, le dessin à la main sur une table à dessin et beaucoup moins pertinent par le fait que les outils de dessin assisté par ordinateur sont clairement accessibles pour les élèves du secondaire et cela rapproche davantage le travail réalisé à l'école de celui de la réalité.

5.3 Les apports professionnels

En ce qui a trait au développement professionnel, cette étude m'a permis d'approfondir la compétence 8 en lien avec les TIC dans le pilotage d'activité d'apprentissage (Ministère de l'Éducation du Québec, 2001).

La composante 1 (« Exercer un esprit critique et nuancé par rapport aux avantages et aux limites véritables des TIC comme soutien à l'enseignement et à l'apprentissage, ainsi qu'aux enjeux pour la société. » (MEQ, 2001, p. 108)) a été particulièrement développée. Par l'exploration des outils de fabrication numérique à travers les yeux des différents enseignants, cela m'a permis de mieux me positionner quant à l'utilisation de ces technologies en classe. Ainsi, dans mon enseignement, je serai donc plus à même d'optimiser l'utilisation de ces outils en classe. Je pourrai même partager mes trouvailles avec mes collègues dans un contexte de formation continue ou même initiale en proposant une conférence ou une publication.

La composante 6 (« Aider les élèves à s'appropriier les TIC, à les utiliser pour faire des activités d'apprentissage, à évaluer leur utilisation de la technologie et à juger de manière critique les données recueillies sur les réseaux. » (MEQ, 2001, p. 108)) a aussi été développée. En effet, les propos des enseignants permettent de montrer ce qui fonctionne bien et moins bien avec les élèves. Ainsi, dans le cadre de conception de SAÉ, il sera plus facile de miser sur les difficultés des élèves à utiliser de tels outils.

5.4 Les limites de l'étude

Le fait d'avoir choisi l'entrevue semi-dirigée comme méthode de collecte de données amène certaines limites. Tout d'abord, l'entrevue s'est déroulée dans un contexte délimité au niveau temporel. Ainsi, ces entrevues n'expriment que ce qui se passait à ce moment et non plus ce qui se passera dans le futur puisque l'intégration des outils de fabrication numérique par les enseignants interviewés continue à évoluer. De plus, il est possible que l'interviewé puisse adapter son message en fonction de ce qu'il pense que le chercheur veut savoir (désirabilité sociale), ceci peut donc réduire la crédibilité du message de l'interviewé (Savoie-Zajc, 2009).

De même, la méthode d'analyse imposant de passer d'un « verbatim » de près de 40 pages, à un résumé des énoncés significatifs, puis à une catégorisation de ces énoncés amène nécessairement à ce qu'il y ait une certaine interprétation du chercheur. Cela fait en sorte que les résultats peuvent s'éloigner légèrement de ce que l'interviewé avait voulu exprimer, donc nécessairement une forme d'interprétation.

Les entrevues se sont également limitées à des enseignants utilisant déjà ou en voie d'adoption des outils de fabrication numérique. Il aurait été intéressant d'élargir la collecte de données à des enseignants encore néophytes sur le sujet afin de connaître leurs visions. De même, certains enseignants d'arts ou encore de mathématique pourraient potentiellement être intéressés à utiliser ces outils. Ainsi, dans des recherches futures, il serait intéressant d'élargir la collecte de données auprès de ceux-ci.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ackermann, E. (2001). Piaget's constructivism, Papert's constructionism: What's the difference. *Future of learning group publication*, 5(3), 438. Récupéré de : <http://www.sylvia stipich.com/wp-content/uploads/2015/04/Coursera-Piaget--Papert.pdf>

Alloprof. (s.d.). *La gamme de fabrication*. Récupéré de : <http://www.alloprof.qc.ca/BV/pages/s1452.aspx>

Balleux, A. (2007). Le récit phénoménologique: étape marquante dans l'analyse des données. *Recherches qualitatives*, 396-423. Récupéré de : http://www.recherche-qualitative.qc.ca/documents/files/revue/hors_serie/hors_serie_v3/Balleux-FINAL2.pdf

Beyers, R. N. (2010). Nurturing creativity & innovation through FabKids: A case study. *Journal of Science Education and Technology*, 19(5), 447-455. Récupéré de : <http://web.b.ebscohost.com/biblioproxy.uqtr.ca/ehost/detail/detail?vid=16&sid=3cbee3ff-5338-4e5f-937d-f69578d238e6%40sessionmgr110&hid=110&bdata=JnNpdGU9ZWhvc3QtG12ZQ%3d%3d#db=a9h&AN=53556344>

Blikstein, P. (2013). *Digital fabrication and 'making' in education: The democratization of invention*. *FabLabs: Of machines, makers and inventors*, 1-21. Récupéré de : <https://tltl.stanford.edu/sites/default/files/files/documents/publications/2013.Book-B.Digital.pdf>

Caisse de dépôt et placement du Québec. (2017). *Un regard sur l'entrepreneuriat féminin : Indice entrepreneurial québécois 2017*. Récupéré de : https://www.reseaum.com/documents/20182/64353/Rapport_IEQ2017_final_171030.pdf/ed5cd154-855a-4362-bec4-93079cd502b3

Chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie (CRIJEST). (2013). Intéresser les élèves aux sciences et à la technologie avec des interventions pédagogiques adaptées. Récupéré de : http://www.crijest.org/sites/crijest.org/files/CRIJEST-Depliant_0.pdf

Chouinard, T. (2018). Numérique: toutes les écoles auront de nouveaux outils cette année. *La Presse*. Récupéré de : <http://www.lapresse.ca/actualites/education/201805/30/01-5183838-numerique-toutes-les-ecoles-auront-de-nouveaux-outils-cette-annee.php>

Chambers, J., Carbonaro, M., et Rex, M. (2007). Scaffolding knowledge construction through robotic technology: A middle school case study. *Electronic Journal for the Integration of Technology in Education*, 6, 55-70. Récupéré de : <http://www.itari.in/categories/futuretrendsineducation/roboticsinschool.pdf>

Cloutier, R. et Drapeau, S. (2015). *Psychologie de l'adolescence*. (4^e édition). Montréal, QC : Gaëtan Morin.

Codère, J. F. (2015, 3 juin). Des laboratoires de fabrication au secondaire. *La Presse.ca*. Récupéré de : <http://plus.lapresse.ca/screens/eba08090-466a-4f20-b225-d8daf88e5e52%7Cr~CJ29buBy9e.html>

Commission scolaire Marguerite-Bourgeoys. (2015). *Rapport de l'implantation FabLab@Marguerite*. Récupéré de : <http://fablabcsmb.ca/wp-content/uploads/2015/02/Rapport-FabLAB-Mobile-final.pdf>

Conseil supérieur de l'éducation. (2013). *L'enseignement de la science et technologie au primaire et au premier cycle du secondaire*. Québec, Québec : Gouvernement du Québec. Récupéré de : <http://www.cse.gouv.qc.ca/fichiers/documents/publications/Avis/50-0481.pdf>

Couture, C., Dionne, L., Savoie-Zajc, L. et Arousseau, E. (2015). Développer des pratiques d'enseignement des sciences et des technologies: selon quels critères et dans quelle perspective?. RDST. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (11), 109-132. Récupéré de : <https://journals.openedition.org/rdst/1004>

Dougherty, D. (2012). The maker movement. *innovations*, 7(3), 11-14. Récupéré de : http://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/INOV_a_00135

Emploi Québec (2012). *Le marché du travail au Québec : perspectives à long terme 2012-2021*. Québec, Québec : Gouvernement du Québec, Direction de l'analyse et de l'information sur le marché du travail d'Emploi-Québec. Récupéré de : http://www.emploi Quebec.gouv.qc.ca/publications/pdf/00_imt_marche-travail_long-terme_2012-2021.pdf

Fortin, M.-F. et Gagnon, J. (2010). *Fondements et étapes du processus de recherche : Méthodes quantitatives et qualitatives* (2^e édition). Montréal, Qc : Chenelière Éducation.

Fortin, M.-F. et Gagnon, J. (2016). *Fondements et étapes du processus de recherche : Méthodes quantitatives et qualitatives* (3^e édition). Montréal, Qc : Chenelière Éducation.

Gagnon, J. (2015). *Contributions potentielles du tableau numérique interactif dans une situation-problème nécessitant le passage de l'abstrait au concret dans un contexte de mathématique, science et technologie* (Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières).

Gershenfeld, N. (2012). How to make almost anything. *Foreign Affairs*, 91(6), 43-57. Récupéré de : <http://cba.mit.edu/docs/papers/12.09.FA.pdf>

Giordan, A. (2010). Nouveaux contenus, nouvelles pratiques : peut-on mutualiser les problèmes et les acquis? Dans A. Hasni et J. Lebeaume (dir.), *Enjeux contemporains de l'éducation scientifique et technologique* (17-49). Ottawa : Les Presses de l'Université d'Ottawa.

Hasni, A. et Lebeaume, J. (2010). L'enseignement scientifique et technologique : nouvelles orientations curriculaires, nouveaux défis. Dans A. Hasni et Lebeaume, J. (dir.), *Enjeux contemporains de l'éducation scientifique et technologique* (1-16). Ottawa : Les Presses de l'Université d'Ottawa.

Hasni, A. et Potvin, P. (2015). Student's Interest in Science and Technology and its Relationships with Teaching Methods, Family Context and Self-Efficacy. *International Journal of Environmental and Science Education*. 10 (3). p. 337-366. Récupéré de : <http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1069261.pdf>

Hasni, A., Lenoir, Y., Larose, F., Samson, G., Bousadra, F. et Dos Santos, C. (2008). Enseignement des sciences et technologies et interdisciplinarité: point de vue d'enseignants du secondaire au Québec. Dans A. Hasni et J. Lebeaume (dir.), *Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique* (76-110). Sherbrooke-Lyon : Éditions-INRP.

Kafai, Y. B., Fields, D. A. et Searle, K. A. (2014). Electronic textiles as disruptive designs in schools: Supporting and challenging maker activities for learning. *Harvard Educational Review*, 84(4), 532-556.

Karsenti, T. et Larose, F. (2005). L'intégration pédagogique des TIC dans le travail enseignant : Recherches et pratiques. Montréal.

La Madeleine, C. (2014). L'enseignement des sciences et de la technologie au primaire et les TIC: une analyse didactique des pratiques. Récupéré de : https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/10985/LaMadeleine_Catherine_2014_memoire.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Lefebvre, S. (2005). Pratiques d'enseignement et conceptions de l'enseignement et de l'apprentissage d'enseignants du primaire à divers niveaux du processus d'implantation des TIC (Thèse de doctorat, Université du Québec à Trois-Rivières). Récupéré de : <http://depot-e.uqtr.ca/1872/1/000133444.pdf>

Martinez, S. et Stager, G. (2013). *Invent to Learn : Making, Tinkering and Engineering in the Classroom*. Torrance, California : Constructing Modern Knowledge Press.

Litts, B. K. (2015). Making learning: Makerspaces as learning environments (Thèse de doctorat, University of Wisconsin-Madison). Accessible par ProQuest Dissertations & Theses. (3672348)

Ministère de l'Éducation du Québec. (2001). *La formation à l'enseignement : Les orientations, les compétences professionnelles*. Récupéré de : http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/reseau/formation_titularisation/formation_enseignement_orientations_EN.pdf

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS) (2007). *Programme de formation de l'école québécoise*. Enseignement secondaire, deuxième cycle. Québec, Québec : Gouvernement du Québec.

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur (2016). *Indices de défavorisation 2015-2016*. Récupéré de : http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/PSG/statistiques_info_decisionnelle/Indices_PUBLICATION_20152016.pdf

- Ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation. (2011). *Foncez! Tout le Québec vous admire : Stratégie québécoise de l'entrepreneuriat*. Récupéré de : https://www.economie.gouv.qc.ca/fileadmin/contenu/publications/administratives/strategies/strategie_entrepreneuriat.pdf
- Nemorin, S. (2017). The frustrations of digital fabrication: an auto/ethnographic exploration of '3D Making' in school. *International Journal of Technology and Design Education*, 27(4), 517-535. Récupéré de : <https://link.springer.com/article/10.1007/s10798-016-9366-z>
- Paillé, P. (2007). La méthodologie de recherche dans un contexte de recherche professionnalisante: douze devis méthodologiques exemplaires. *Recherches qualitatives*, 27(2), 133-151. Récupéré de : <http://www.nice.cnge.fr/IMG/pdf/paille.pdf>
- Papert, S. (1993). *L'enfant et la machine à connaître* (traduit par E. Cazin). Paris, France : Dunod.
- Peppler, K. et Bender, S. (2013). Maker movement spreads innovation one project at a time. *Phi Delta Kappan*, 95(3), 22-27. Récupéré de : <http://web.b.ebscohost.com/biblioproxy.uqtr.ca/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=5a0826f3-fb1c-4236-bc96-bf6bb2e1245a%40sessionmgr112&vid=4&hid=123>
- Rumpala, Y. (2014). "Fab labs", "makerspaces" : entre innovation et émancipation?. *Revue internationale de l'économie sociale : Recma*, (334), 85-97. Récupéré de : <http://www.erudit.org/revue/recma/2014/v/n334/1027278ar.html?vue=resume&mode=restriction>
- Savoie-Zajc, L. (2009). L'entrevue semi-dirigée. *Recherche sociale: de la problématique à la collecte des données*, 5, 337-360.
- Smith, S. (2013). Through the Teacher's Eyes: Unpacking the TPACK of Digital Fabrication Integration in Middle School Language Arts. *Journal of Research on Technology in Education (International Society for Technology in Education)*, 46(2), 207-227. Récupéré de : <http://web.b.ebscohost.com/biblioproxy.uqtr.ca/ehost/detail/detail?vid=5&sid=571c673c-57cb-4e43-83fd-a80a8f4ea743%40sessionmgr110&hid=116&bdata=JnNpdGU9ZWhvc3QtbGl2ZQ%3d%3d#db=a9h&AN=93264918>
- Tanguay, B. (2012, 25 janvier). Désintérêt des jeunes pour les sciences : les commissions scolaires inquiètes. *La Presse.ca*. Récupéré de : <http://www.lapresse.ca/actualites/education/201201/25/01-4489428-desinteret-des-jeunes-pour-les-sciences-les-commissions-scolaires-inquietes.php>
- The White House. (2014). FACT SHEET: President Obama to Host First-Ever White House Maker Faire, the White House. Washington : Office of the Press Secretary. Récupéré de : <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2014/06/18/fact-sheet-president-obama-host-first-ever-white-house-maker-faire>

Villeneuve, S., Karsenti, T. et Collin, S. (2013). Facteurs influençant l'utilisation des technologies de l'information et de la communication chez les stagiaires en enseignement du secondaire. *Éducation et francophonie*, 41(1), 30-44. Récupéré de : <https://www.erudit.org/fr/revues/ef/2013-v41-n1-ef0525/1015058ar.pdf>

APPENDICE A - SCHÉMA DE L'ENTREVUE

Questions générales

Quel est votre nom?

Quel est votre formation académique?

Quels cours avez-vous enseigné lorsque vous avez utilisé des outils de fabrication numérique en classe?

Position quant à l'utilisation des technologies

Comment vous positionnez-vous quant à l'utilisation des outils de fabrication numérique en classe? Que vous permettent-elle de faire?

Comment définissez-vous les outils de fabrication numérique?

Cheminement face aux outils de fabrication numérique

Quel est votre premier souvenir de contact avec les outils de fabrication numérique ? Dans quel contexte ? Quand ?

Comment s'est déroulé le développement de votre habileté à utiliser les outils de fabrication numérique ?

Formation initiale? Continue?

Quels ont été les deux événements vécus les plus importants pour vous face à l'intégration des outils de fabrication numérique en classe ?

Qui vous a le plus influencé par rapport aux outils de fabrication numérique ? En quoi ?

Qu'est-ce qui a été le plus difficile dans votre cheminement face aux outils de fabrication numérique ? En quoi ?

Comment avez-vous surmonté cet (ou ces) obstacle (s) ?

Rôle, avantage et influence des outils de fabrication numérique

Comment utilisez-vous les outils de fabrication numérique en classe ?

Quel devrait être le rôle des outils de fabrication numérique au secondaire ?

Qu'est-ce qui vous incite à continuer à intégrer les outils de fabrication numérique ?

En quoi les outils de fabrication numérique ont-ils influencé votre manière d'enseigner ?

Quelles sont les contraintes associées aux outils de fabrication numérique?

Est-ce que l'utilisation des outils de fabrication numérique amène un intérêt particulier des jeunes pour la technologie?