

Enjeux de responsabilité face à la donnée numérique dans le
contexte du BIM et du PLM

par

Maggie FALARDEAU

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE LA MAÎTRISE
AVEC MÉMOIRE EN GÉNIE DE L'INNOVATION

M. Sc. A.

MONTRÉAL, LE 03 JUIN 2020

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

©Tous droits réservés

Il est interdit de reproduire, d'enregistrer ou de diffuser en tout ou en partie, le présent document. Le lecteur qui désire imprimer ou conserver sur un autre media une partie importante de ce document, doit obligatoirement demander l'autorisation à l'auteur.

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. James Lapalme, directeur de mémoire
Département de génie des systèmes à l'École de technologie supérieure

M. Louis Rivest, co-directeur de mémoire
Département de génie des systèmes à l'École de technologie supérieure

M. Conrad Boton, co-directeur de mémoire
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

Mme Ivanka Iordanova, présidente du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Alexandre Moïse, membre du jury
École de gestion à l'Université de Sherbrooke

M. Michel Guevremont, membre du jury
Examinateur externe

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 3 JUIN 2020

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

Enjeux de responsabilité face à la donnée numérique dans le contexte du BIM et du PLM

Maggie FALARDEAU

RÉSUMÉ

Au cours des dernières décennies, les outils et les données numériques ont pris une importance grandissante au sein des activités industrielles, qu’elles concernent le développement de produits aéronautiques, appuyés par les outils PLM (*Product Lifecycle Management*), ou d’ouvrages de construction, appuyés par les outils BIM (*Building information Modeling*). La prise de responsabilité face aux données numériques soulève des difficultés susceptibles de limiter le déploiement de nouveaux processus basés sur ces outils et ces données numériques. Ce projet de recherche propose une étude exploratoire afin d’identifier les préoccupations liées à la prise de responsabilité face à la maquette numérique (3D) et son utilisation, au sein d’une organisation d’envergure dans l’industrie de la construction au Québec. Ce projet à pour objectif d’explorer les différents éléments pouvant influer les enjeux de responsabilités face à la maquette numérique.

Les enjeux de responsabilité ont été explorés selon deux volets : la responsabilité juridique/contractuelle et la responsabilité professionnelle. La méthodologie de recherche utilisée est la recherche exploratoire qui permet de dépeindre et clarifier la nature des préoccupations grâce à des entrevues et des analyses déductives et inductives, des verbatims générés par les entrevues. La première et seconde phase d’entrevue compte sept entrevues et ont été réalisées sur une période allant de 45 à 80 minutes chacune. Suite à cette première série d’entrevues, les enjeux de responsabilités ont été regroupés en huit catégories : les lois au Québec, l’identification du responsable, la distribution des risques, la distribution des rôles et responsabilités ambiguë, appréhender l’entièreté du contenu, la différence entre les disciplines, la signature de la maquette numérique et la confiance envers le modeleur. Puis, l’une d’elles a été approfondie au cours d’une seconde série de sept entrevues : appréhender l’entièreté du contenu d’une maquette numérique par rapport au médium traditionnel du dessin 2D. Suite à l’analyse approfondie, sept catégories d’enjeux ont été identifiées : l’implication dans la préparation de la maquette, les conventions de représentation, l’interprétation multiple, la finalité du document, le modèle théorique par rapport à la réalité du terrain, la difficulté d’appréhender l’entièreté du contenu et la non-altérabilité de la maquette 3D. Enfin, les constats réalisés grâce à ces deux séries d’entrevues ont été soumis à des experts du domaine aéronautique afin de sonder si ces constats trouvent écho, ou non, dans leur milieu. En comparant les deux milieux, il a été observé que le secteur aéronautique n’est pas plus avancé que celui de la construction en ce qui concerne la signature de la maquette numérique, et que la majorité des enjeux vécus sont semblables dans les deux milieux. Ainsi, il n’est pas clair que la prise de responsabilité de la maquette numérique dans son entièreté soit actuellement réalisable.

Mots clés : Maquette numérique, BIM, PLM, Responsabilité, Données numériques, Construction, Aéronautique

Responsibility issues in relation to digital data in the context of BIM and PLM

Maggie FALARDEAU

ABSTRACT

In recent decades, digital tools and data have become increasingly important within industrial activities, whether they relate to the development of aeronautical products, supported by PLM (Product Lifecycle Management), or construction works, supported by BIM (Building Information Modeling). Taking responsibility for digital data raises issues that may limit the deployment of new processes based on these tools and digital data.

This research project offers an exploratory study in order to identify the concerns related to taking responsibility for the digital model (3D) and its use, within a large organization in the construction industry in Quebec. The objective of this project is to explore the different elements that can influence the challenges of taking responsibilities for the digital model.

Liability issues were explored according to two aspects : legal/contractual liability and professional liability. The research methodology used is exploratory research, which makes it possible to portray and clarify the nature of the concerns through interviews and deductive and inductive analyses of the verbatim generated from it. The first and second interview phases consisted of seven interviews each. A typical interview carried out over a period of 45 to 80 minutes each. Following this first series of interviews, the responsibility issues were grouped into eight categories: laws in Quebec, identification of the responsible person, distribution risk, ambiguous distribution of roles and responsibilities, understanding the entire content of 3D model , difference between disciplines, digital model signature and trust in the modeller. Then, one of them was deepened during the second series of seven interviews: understanding the entire content of a digital model compared to the traditional 2D drawing medium. Following the in-depth analysis, six categories of issues were identified : involvement in the preparation of the digital model, representation conventions, multiple interpretations, the purpose of the document, the digital model in relation to the reality on the ground, the challenge of understanding the entire content and the non-alterability of the 3D model. Finally, the findings made through these two series of interviews were submitted to experts in the aeronautical field in order to verify whether these findings find resonance, or not, in their environment. By comparing the two environments, it was observed that the aeronautical sector is not more advanced than the construction sector, with regard to the signing of the digital model, and the majority of the challenges experienced are similar in the two environments. Thus, it is not clear that taking responsibility for the entire digital model is currently achievable.

Keywords: Digital model, BIM, PLM, Responsibility, Liability, Digital data, Construction, Aeronautics

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE	5
1.1 Le milieu de la construction.....	6
1.2 Définition du BIM (Building Information Modeling)	7
1.3 Bénéfice de l'utilisation du BIM.....	8
1.4 La collaboration dans le BIM	11
1.5 Définition de l'implémentation.....	12
1.6 Catégorisation des facteurs impactant l'implémentation du BIM	13
1.7 Les facteurs en lien avec les enjeux d'implémentation du BIM	19
1.7.1 Facteur humain.....	20
1.7.1.1 Collaboration.....	20
1.7.1.2 Compatibilité.....	21
1.7.1.3 Formation/ Compétence	22
1.7.1.4 Soutien de la direction.....	24
1.7.1.5 Responsabilité individuelle	25
1.7.2 Facteur technologique	27
1.7.2.1 Complexité du modèle	27
1.7.2.2 Interopérabilité	28
1.7.2.3 Démonstration des avantages	29
1.7.2.4 Coûts	30
1.7.3 Facteur culturel/juridique	31
1.7.3.1 Propriété intellectuelle.....	31
1.7.3.2 Culture	32
1.7.3.3 Responsabilité pénale ou juridique	33
1.8 Le Product Lifecycle Management (PLM)	36
1.8.1 Définition du PLM	36
1.8.2 Similitudes entre le BIM et le PLM	37
1.8.3 Différences entre les industries de la construction et l'aéronautique.....	38
1.8.4 Enjeux de responsabilité face au PLM	39
1.8.4.1 Partage des pouvoirs.....	40
1.8.4.2 Culture collaborative	40
1.9 Positionnement de ce projet de recherche.....	41
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE	44
2.1 Introduction.....	44
2.2 Étude exploratoire	44
2.3 Les raisons de la recherche exploratoire	46
2.4 Collectes de données.....	47
2.4.1 Échantillonnage	47
2.4.2 Entrevues semi-dirigées	50

2.5	Considérations éthiques	51
2.5.1	Consentement libre et éclairé	51
2.5.2	Confidentialité	52
2.6	Analyse de données.....	52
2.6.1	Analyse thématique	53
2.6.2	Codage déductif /inductif.....	53
2.6.3	Rigueur de l'analyse.....	54
2.7	Conception des questionnaires.....	52
2.7.1	Élaboration du questionnaire.....	55
2.7.2	Types de questions	57
2.7.3	Climat des entrevues	58
2.7.4	Format des questionnaires	59
2.8	Validation du questionnaire	61
2.9	Forces et limites de la démarche	62
 CHAPITRE 3 RÉSULTATS DE LA RECHERCHE EXPLORATOIRE		65
3.1	Introduction.....	65
3.2	Résultats de la première et deuxième phases d'entrevues	65
3.2.1	Catégorisation des enjeux découlant de l'analyse déductive	68
3.2.1.1	Lois au Québec	68
3.2.1.2	Identification du responsable	72
3.2.1.3	Distribution des risques	75
3.2.1.4	Distribution des rôles et responsabilités	77
3.2.2	Catégorisation des enjeux découlant de l'analyse inductive	79
3.2.2.1	Difficulté supplémentaire d'appréhender l'entièreté du contenu en passant du 2D vers le 3D	80
3.2.2.2	Différences entre les disciplines.....	83
3.2.2.3	Signature de la maquette numérique	84
3.2.2.4	Confiance envers le modeleur	87
3.2.3	Synthèse des première et deuxième phases d'entrevues	88
3.3	Résultats de la troisième phase d'entrevues.....	89
3.3.1	Appréhender l'entièreté du contenu	90
3.3.2	Implication dans la préparation de la maquette.....	92
3.3.3	Convention de représentation.....	94
3.3.4	Interprétations multiples.....	95
3.3.5	Finalité du document	97
3.3.6	Modèle théorique par rapport à la réalité terrain.....	99
3.3.7	Non-altérabilité de la maquette 3D	101
3.4	Synthèse de la troisième phase d'entrevues.....	103
3.5	Synthèse globale des phases d'entrevues	104
 CHAPITRE 4 DISCUSSION		106
4.1	Parallèles entre le milieu de l'aéronautique et celui de la construction	106
4.2	Perception par le milieu aéronautique des enjeux de responsabilité relevés en construction	108

4.2.1	Appréhender l'entièreté du contenu	108
4.2.2	Implication dans la préparation de la maquette.....	109
4.2.3	Convention de représentation.....	109
4.2.4	Interprétations multiples.....	109
4.2.5	Finalité du document.....	110
4.2.6	Modèle théorique par rapport à la réalité terrain.....	110
4.2.7	Non-altérabilité de la maquette numérique 3D	111
4.3	Interprétation des résultats à la lumière de la littérature	111
4.3.1	Premier constat : Les similitudes entre les enjeux du milieu de la construction et de l'aéronautique	111
4.3.2	Deuxième constat : Les enjeux d'appréhension en lien avec la capacité de communication d'information via la maquette	114
4.3.3	Troisième constat : Les références au contexte social plutôt qu'à la technologie pour décrire les enjeux.....	116
	CONCLUSION.....	118
	ANNEXE I QUESTIONNAIRE DE VALIDATION DU VOCABULAIRE.....	121
	ANNEXE II QUESTIONNAIRE D'ENTREVUE PHASE 2	123
	ANNEXE III QUESTIONNAIRE D'ENTREVUE PHASE 3	126
	ANNEXE IV FORMULAIRE DE CONSENTEMENT	128
	ANNEXE V LETTRE D'INVITATION AUX PARTICIPANTS	132
	ANNEXE VII CERTIFICAT D'ÉTHIQUE.....	137
	LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	139

LISTE DES TABLEAUX

	Page	
Tableau 2.1	Questions et types de recherche	45
Tableau 2.2	Caractéristiques des participants à l'étude.....	49
Tableau 2.3	Résultats du questionnaire de validation de vocabulaire	56
Tableau 3.1	Classification des types d'enjeux de responsabilité	66
Tableau 3.2	Catégorisation des enjeux de la première et deuxième phase d'entrevues ...	67
Tableau 3.3	Extraits tirés des verbatims sur les lois au Québec	70
Tableau 3.4	Extraits tirés des verbatims sur l'identification du responsable	73
Tableau 3.5	Extraits tirés des verbatims sur la distribution des risques	76
Tableau 3.6	Extraits tirés des verbatims sur la distribution des rôles et responsabilités .	78
Tableau 3.7	Extraits tirés des verbatims sur la difficulté supplémentaire d'appréhender l'entièreté du contenu en passant de la 2D vers le 3D	81
Tableau 3.8	Extraits tirés des verbatims sur les différences entre les disciplines.....	84
Tableau 3.9	Extraits tirés des verbatims sur la signature de la maquette numérique	86
Tableau 3.10	Extraits tirés des verbatims sur la confiance envers le modeleur	88
Tableau 3.11	Catégorisation des enjeux de la troisième phase d'entrevues.....	90
Tableau 3.13	Extraits tirés des verbatims sur l'implication dans la préparation de la maquette.....	93
Tableau 3.14	Extraits tirés des verbatims sur les conventions de représentation	95
Tableau 3.15	Extraits tirés des verbatims sur les interprétations multiples	97
Tableau 3.16	Extraits tirés des verbatims sur la finalité du document	98

Tableau 3.17	Extraits tirés des verbatims sur le modèle théorique par rapport à la réalité terrain	100
Tableau 3.18	Extraits tirés des verbatims sur la non-altérabilité de la maquette 3D	102

LISTE DES FIGURES

	Page	
Figure 1.1	Productivité du travail, secteur des entreprises du Québec (2000-2010)	7
Figure 1.2	Modèle de recherche conceptuel BIM selon Mutai (2009)	15
Figure 1.3	Les barrière d'adoption du BIM selon Alreshidi et al. (2017)	17
Figure 1.4	Représentation du concept d'interopérabilité par Foster (2008)	29

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AutoCad	Logiciel de CAO
BIM	Building Information Modeling, Building Information Model, Building Information Management
CATIA	Logiciel de conception assistée par ordinateur
DMT	Demande de modifications techniques
DWG	Format natif des fichiers de dessins AutoCAD
NC	Non-conformité
OAQ	Ordre des architectes du Québec
OIQ	Ordre des ingénieurs du Québec
PLM	Product Lifecycle Management
QRT	Questions-Réponses techniques
TQC	Tel que construit
3D	Trois dimensions ou tridimensionnel
2D	Deux dimensions, bidimensionnel

INTRODUCTION

Ce chapitre abordera le contexte du mémoire et justifiera la rationalité de celui-ci. Ainsi, le but et les objectifs de la recherche seront spécifiés. Ce chapitre fera aussi l'introduction de la stratégie de recherche et conclura avec le plan et la structure générale du mémoire.

Contexte de la recherche

En raison de la rapidité croissante de la technologie et de l'orientation axée sur le client qui impacte de plus en plus les stratégies d'entreprise, les organisations contemporaines n'ont pas le choix d'innover pour faire face au marché. Ainsi, certains secteurs comme celui de la construction doivent répondre aux demandes toujours plus complexes des clients, en respectant des échéanciers serrés et en offrant des prix compétitifs (Thompson & Miner, 2006; Rosenberg, 2007). Néanmoins, selon Anthony K. Mutai (2009), le secteur de la construction est un secteur particulier où la collaboration et le partage de renseignements sont indispensables à la réussite d'un projet, mais où la nature même de la construction est une barrière. Effectivement, plusieurs auteurs s'entendent pour dire que le modèle économique fragmenté nuit à la collaboration entre les différents groupes de travail impliquant diverses disciplines (Mutai, 2009; Lindblad, 2013; Foster, 2008). En effet, selon la thèse publiée par Lindblad (2013) sur le processus d'implémentation du BIM dans les firmes de construction, on explique que la : « *construction industry is one of the world's larger industries but also one of the most fragmented. The characteristic view of the industry is of a brought together multidisciplinary group in a unique project facing great coordinating issues* » (Lindblad, 2013). Cette déclaration est similaire à celle d'Enoch Sackey (2014) qui explique que le fait de travailler sur des projets uniques et multidisciplinaires dans le milieu de la construction génère d'énormes défis de coordination et d'adversité. Leon L. Foster (2008) ajoute aussi que la fondation de notre système juridique, essentiellement individuel et axé sur les droits et les responsabilités individuels, pourrait être en partie responsable de cette difficulté. En effet, cette tendance juridique est susceptible de limiter la promotion de la collaboration et de nuire aux sentiments de ralliement entre les différents acteurs impliqués dans un projet de construction.

De ce fait, le système juridique nuit au déploiement d'outils collaboratifs comme le BIM dans le contexte de la construction (Foster, 2008). « *La technologie BIM est un processus qui implique la création et l'utilisation d'un modèle 3D intelligent pour prendre de meilleures décisions concernant un projet et les communiquer. Les solutions BIM permettent aux équipes de concevoir, visualiser, simuler et collaborer plus facilement tout au long du cycle de vie du projet* » (Autodesk, 2020). Conséquemment, même si la mise en œuvre d'une chaîne numérique efficace constitue une avenue prometteuse, de nombreux problèmes demeurent à résoudre. Dans le cadre de cette recherche, nous examinerons l'un d'eux qui, à la lumière des discussions dans le milieu industriel, constitue un frein potentiel au déploiement de l'approche BIM, du moins, dans certains cas. Cela dit, Eastman et al. (2011) expliquent qu'une distinction s'impose probablement entre les différentes industries susceptibles d'utiliser le BIM. En effet, contrairement aux industries manufacturières ou de services, les projets en construction se déroulent dans des environnements différents caractérisés par des conditions uniques et des équipes de travail temporaire (Eastman et al., 2011). Ainsi, il n'est pas clairement établi si l'industrie manufacturière, notamment l'aéronautique, éprouve les mêmes difficultés. Pour éclaircir cette question, il faudrait explorer/documenter les préoccupations propres à une organisation précise du secteur industriel, et susceptible d'être affecté par certains enjeux liés à la responsabilité du BIM face à la maquette numérique, aussi désignée ici maquette 3D¹.

Problématique et objectifs du mémoire

Depuis quelques années, nous observons une augmentation de la documentation sur les difficultés relatives aux processus de mise en œuvre de la donnée numérique dans les domaines de la construction et de l'aéronautique. En effet, les outils numériques deviennent une avenue de plus en plus intéressante pour ces différents milieux en vue de répondre à diverses problématiques (Eastman et al. 2011). Néanmoins, les enjeux de responsabilité face à la maquette 3D sont peu documentés dans la littérature, surtout quant à la signature de la maquette 3D. Les enjeux de cet ordre sont principalement décrits comme une sous-catégorie ou un type de barrière relative à un thème ou à une catégorie d'obstacles précise. L'examen de la littérature

¹ L'utilisation du terme maquette 3D est en lien avec la validation du vocabulaire réalisée pour faciliter la compréhension durant les entrevues.

nous a aussi permis de constater qu'aucune littérature ne s'intéresse précisément aux enjeux de responsabilités dans l'industrie de la construction au Québec. Le premier objectif de notre recherche est de récolter des informations riches sur les préoccupations liées à la responsabilité dans l'utilisation de la maquette 3D basée sur la réalité observable d'une organisation d'envergure dans l'industrie de la construction au Québec qui a entrepris des démarches et exploite la maquette numérique 3D dans ses pratiques. Puis, notre second objectif sera de comparer les données récoltées en lien avec la réalité vécue en termes d'enjeux de responsabilité BIM des utilisateurs du milieu de la construction avec celle des utilisateurs PLM du milieu de l'aéronautique.

Structure du mémoire

Le but de cette recherche est de mieux comprendre et cerner les éléments liés aux enjeux de responsabilité. Nous privilégions une méthodologie d'étude de cas multiples fondée sur la perception des utilisateurs comme principale source de données.

Pour assurer une vision critique du phénomène, nous avons mené une revue de littérature dans la première partie de ce document. Cette revue fait état de l'art en abordant d'abord les défis généraux de mise en œuvre du BIM. Ensuite, elle s'attarde aux principaux éléments liés aux enjeux de responsabilité ainsi qu'aux multiples définitions de la responsabilité. Pour finir, elle traite des impacts attribuables à ces enjeux et à d'autres principales causes plausibles.

Ce mémoire se divise en cinq chapitres. Dans le premier chapitre, nous présentons l'état de l'art sur le sujet. Ensuite, dans le second chapitre nous décrivons la méthodologie utilisée. Dans le troisième chapitre, nous élaborons sur la conception du questionnaire. Dans le quatrième chapitre, nous abordons les résultats finaux de l'étude. Finalement, le mémoire se termine par une discussion sur les enjeux de responsabilité en établissant un parallèle avec le milieu de l'aéronautique, c'est-à-dire un secteur dont les pratiques sont familières avec la maquette 3D.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre vise à présenter la recension des écrits en lien avec les enjeux relatifs aux processus de mise en œuvre de la donnée numérique dans le contexte du *Building Information Modeling* (BIM) dans les domaines de la construction et du *Product Lifecycle Management* (PLM) dans l'aéronautique. Plus spécifiquement, ce chapitre tente d'exposer les enjeux de responsabilité soulevés par l'utilisation de ces technologies et d'en comprendre les causes possibles. Il est important de spécifier qu'une partie de la revue se penche sur le PLM. Cette partie sert principalement d'outil de comparaison pour comprendre les différences et les similitudes dans les domaines de l'aéronautique et de la construction. Néanmoins, plusieurs auteurs s'entendent pour dire que les deux concepts susmentionnés ont en commun des similarités fondamentales et que leur combinaison offre des solutions et des bénéfices remarquables. En effet, Jupp & Singh (2014) expliquent que: « *Similarities exist in the key objectives of PLM and BIM, which include functionalities that support and manage the creation, release, change and verification of product-related information* ». Quant à eux, Ford et al.(2013), font le rapprochement entre le BIM et le PLM en spécifiant que le « *BIM is the construction industry's response to (PLM), in which a federated database is developed to serve an asset from “cradle to cradle”* ». Dans l'article de Aram & Eastman (2013) sur l'intégration des solutions PLM et BIM dans l'industrie de la construction, on affirme que pour favoriser une croissance efficace du rôle de la modélisation des données d'un bâtiment (BIM), il serait utile d'unifier les solutions pour acquérir, gérer et utiliser les données et les processus de divers projets et systèmes au niveau de l'entreprise en réalisant une adaptation sélective des fonctionnalités des systèmes PLM. Ainsi, l'objectif sera d'explorer les enjeux de responsabilité dans les deux méthodes pour alimenter la discussion sur ceux-ci et potentiellement faire émaner des hypothèses. En raison de la nature de notre étude, dans la revue de littérature nous ne tentons pas de déterminer des solutions plausibles aux enjeux, mais plutôt de comprendre le phénomène en examinant de multiples perspectives.

Dans la première section, le BIM sera décrit de manière générale sur les plans de l'historique, des concepts généraux et des apports dans le domaine de la construction. Dans la seconde partie, les défis d'implémentation de la donnée numérique face au BIM seront abordés en ciblant les enjeux de responsabilité. Dans la troisième section, nous décrirons le PLM de manière générale et les enjeux relatifs à la responsabilité face à son implémentation. La dernière section servira à discuter des parallèles plausibles entre les enjeux de responsabilité liés au milieu de la construction tels que documentés dans l'étude, tels que présentés dans la revue de littérature et issus des discussions avec l'industrie de l'aéronautique.

1.1 Le milieu de la construction

De manière générale, l'utilisation de la maquette 3D dans l'AIC (Architecture Ingénierie Construction) est devenue un objectif à atteindre pour l'industrie. Le secteur de la construction est souvent décrit comme un secteur arrivé à maturité, qui innove lentement et qui est peu enclin aux changements techniques (CEFRIQ, 2014). Cela peut s'expliquer puisque l'adoption de nouveaux outils n'est pas accompagnée de changements conséquents dans le modèle traditionnel d'entreprise (CEFRIQ, 2014). En comparaison avec le secteur manufacturier, l'industrie de la construction n'a pas bénéficié des augmentations de productivité considérables liées aux nouveaux processus rendus possibles ou générés par les nouvelles technologies (CEFRIQ, 2014).

Comme mentionné ci-haut, le milieu de la construction est un secteur où l'évolution est considérablement lente par rapport aux autres secteurs d'activités. Dans la figure ci-dessous, on observe l'évolution de la productivité dans le secteur de la construction au fil des années par rapport aux autres types d'industries au Québec (Statistique Canada, 2019). La productivité de la construction est définie de différentes façons. D'une part, elle se décrit par la rapidité, la qualité et le coût d'un projet (Statistique Canada, 2019). D'autre part, The American Association of Cost Engineers la décrit comme une mesure relative d'efficacité au travail, qui se définit par le nombre d'extrants par heure (Ahmed, 2011).

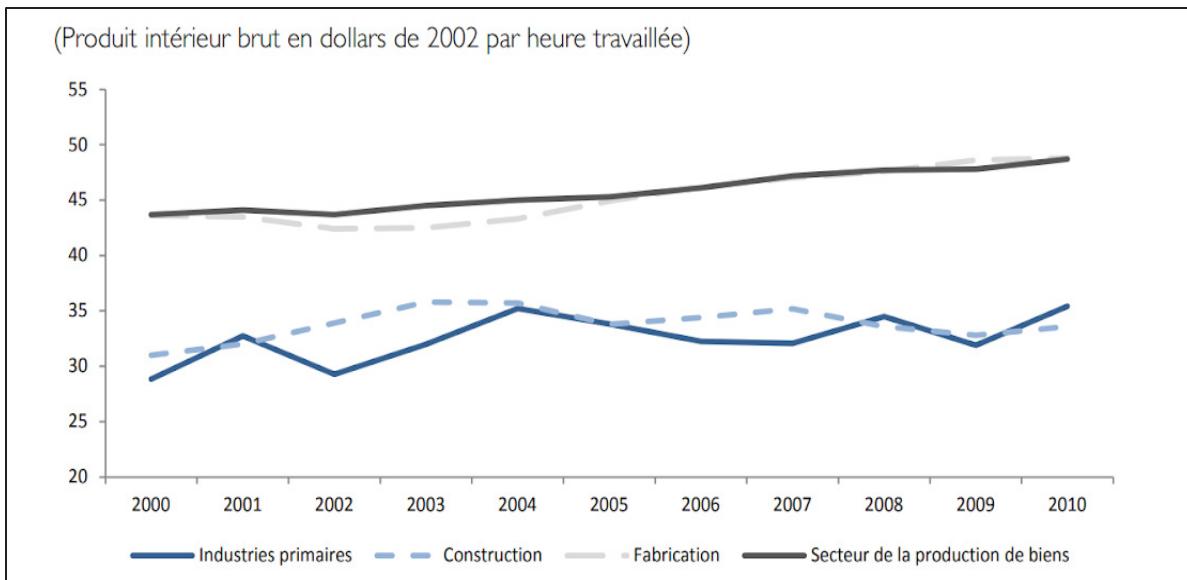


Figure 1.1 Productivité du travail, secteur des entreprises au Québec
Tirée de Statistique Canada (2019)

On constate que la performance de l'industrie de la construction, en ce qui a trait à la productivité, accuse un retard par rapport aux autres industries (Deslauriers J. & Gagné, 2012). Puis, en observant la figure on peut faire le constat que l'évolution du secteur est très faible. Cela dit, afin de maintenir son facteur de compétitivité et ne plus perdre de terrain, « *il nous faut repenser la façon dont les projets sont commandés et le travail est organisé dans et entre les organisations membres des coalitions de projet* » (CEFRCIO, 2014). L'utilisation du BIM représente donc un moyen d'innover pour répondre à la demande croissante de l'industrie.

1.2 Définition du BIM (Building Information Modeling)

Il est important de comprendre les caractéristiques du BIM et ses liens avec la modélisation 3D. En effet, les *Building Information Models* ou le *Building information Modeling* ne doivent pas être considérés comme de simples technologies, mais bien être considérés comme des méthodologies de travail en elles-mêmes (Azhar, 2011). À ce jour, il n'existe pas encore de consensus clair sur la définition de ce concept, puisque son utilisation diffère en fonction de plusieurs aspects comme les besoins de l'organisation qui désire l'utiliser. Selon Eastman (2011), un pionnier de l'approche, le BIM est vu comme une base de données intégrée

d'informations soutenant une variété de projets/tâches comme la conception, l'analyse de la performance des bâtiments et la coordination des intrants de travail multidisciplinaires. Certains auteurs insistent aussi sur le fait que le BIM modifie l'artefact par lequel interagissent et collaborent les individus dans un projet. En effet, selon Dossick & Neff (2011), les solutions proposées par les défenseurs du BIM promettent de remplacer les inefficiencies, en partie, par la création d'un outil référentiel de connaissances partagées facilement accessible et lisible pour les parties prenantes dans un projet multidisciplinaire. Néanmoins, les mêmes auteurs poursuivent en affirmant que « *we find that [...] BIM does not replace talk for problem solving or finding optimal solutions because these solutions are distributed across disciplinary boundaries and require the exchange and discovery of tacit knowledge* » (Dossick & Neff, 2011). Le BIM sera alors décrit ici comme une approche permettant de produire et de gérer des données depuis la conception d'une maquette jusqu'à la gestion patrimoniale de celle-ci en passant par la phase de construction et en garantissant le travail collaboratif entre les acteurs d'un projet (Arensman & Ozbek, 2012; Landrieu, 2013). Cette définition a été choisie parmi plusieurs, parce que nous portons une attention particulière sur la gestion collaborative du concept ainsi que sur les enjeux d'implémentation qui en découlent en ce qui a trait aux responsabilités. Il est pertinent de noter que, d'un côté, le BIM, comme technologie, soutient et permet la collaboration. D'un autre côté, la collaboration des parties prenantes est nécessaire pour mettre pleinement en œuvre le BIM (Poirier, 2015). Même si les équipes de travail peuvent sembler plus satisfaites de la coordination avec les outils numériques, l'ajustement mutuel est souvent nécessaire dans les relations inter organisationnelles (Orlikowski 2000; Liston, K., Fischer, M., Kunz, J., & Dong, N., 2007; Taylor 2007).

1.3 Bénéfice de l'utilisation du BIM

L'approche BIM, contrairement à la modélisation en 2D, représente un changement de paradigme puisqu'elle vise à aider les parties prenantes (les architectes, les ingénieurs, les entrepreneurs, etc.) à visualiser le bâtiment dans un environnement simulé interactif, permettant non seulement d'identifier les erreurs rapidement, mais aussi d'encourager l'apport de tous dans le projet (Foster, 2008). La maquette numérique 3D permet aussi en partie de :

- réduire la quantité de documents échangés au cours d'un projet en centralisant l'information sur un modèle commun (Korkmaz, S., Miller, V. & Sun, W., 2012);
- réduire le nombre d'erreurs et l'inefficience du processus traditionnel (Mutai, 2009);
- adopter un comportement proactif en détectant rapidement les collisions et les conflits entre les éléments (Sackey, 2014);
- améliorer la vision et la compréhension de la structure dans son intégralité afin de mieux comprendre les défis qui en découlent (Foster, 2008).

Cette solution s'avère être l'un des plus importants concepts technologiques émergents depuis la dernière décennie dans l'industrie de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction (Mutai, 2009; Sackey, 2014). Le BIM en lui-même compte près de quatre décennies (Eastman et al., 2011), mais l'implication des acteurs du secteur de la construction ne remonte qu'à une dizaine d'années (Landrieu, 2013). La version interdisciplinaire du BIM cherche alors à relever les défis traditionnels du monde de la construction (Eastman et al., 2011; Lindblad, 2013; Thompson & Miner, 2006; Azhar, 2011). En effet, avec les nouvelles technologies, on tente d'optimiser les processus pour devenir plus productif, prévenir les erreurs en chantier, faciliter la communication et l'accès à l'information, etc. (Sackey, 2014). Néanmoins, malgré les aspirations du BIM, l'approche est rarement mise en application dans un projet typique (Sackey, 2014). La CAO 2D (Conception Assistée par Ordinateur), bien que soumise à de nombreuses critiques, reste encore l'un des outils les plus utilisés dans le secteur de la construction pour dessiner et développer des plans en deux dimensions à l'ordinateur (Autodesk, 2020) puis les utiliser comme livrables officiels. Les principales critiques face à la CAO 2D mettent en évidence le processus long et ennuyeux du logiciel, les nombreuses erreurs et incohérences qui ne peuvent pas être détectées et qui subsistent dans les documents officiels, la collaboration difficile entre les concepteurs (architecte, designer, technicien, etc.) et les ingénieurs, ainsi que d'importants conflits détectés pendant la construction qui s'avèrent très coûteux (Rosenberg, 2007 ; Lindblad, 2013; Abubakar Y. M. Ibrahim D. Kado & K. Bala, 2014).

Afin de mieux apprécier le BIM dans toutes ses facettes, il est important de faire la genèse des avancements en ce qui a trait aux méthodes de conception en construction. En effet, « *la conception traditionnelle à la base 2D a évolué des crayons, au mylar en passant par le calque de superposition et les programmes de conception assistée par ordinateur (CAO) d'aujourd'hui* » (Foster, 2008). La CAO, dans la construction, a été initialement décrite comme le moyen idéal de remplacer les dessins manuels. Ainsi, la CAO 2D a été utilisée massivement (Sackey, 2014). Cependant, ce type de conception ne favorise pas de manière optimale la coordination entre les diverses disciplines concernées. Comme nous l'avons expliqué précédemment, les principales critiques envers les 2D portent sur les erreurs fréquentes qui sont susceptibles de subsister dans les documents officiels, sur le lent et complexe processus de résolution de problèmes et sur les coûts énormes associés aux conflits détectés durant la construction (Rosenberg, 2007). À titre d'exemple, la représentation de la plateforme CAO 2D est apportée de nombreux inconvénients en termes de précisions et d'adéquation de représentation (Sackey, 2014).

L'émergence du BIM a donc été perçue comme un moyen d'illustrer virtuellement un projet de construction avant le début de la réelle construction afin de détecter, simuler et analyser les problèmes potentiels (Foster, 2008). À cela s'ajoute le fait que, selon le CEFRI (2014), le BIM comporte aussi plusieurs avantages pour les promoteurs immobiliers, incluant : « *l'établissement d'un processus de détection d'interférences [...] la démonstration de problèmes de communication et de coordination dans la gestion de projets dans le secteur de la construction résidentielle et la façon dont les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) peuvent aider à les résoudre, puis l'élaboration de mesures et de processus de productivité pour le contrôle de la production* ». Selon Rosenberg (2007), ceux qui sont en faveur du BIM considèrent qu'il impacterait positivement l'économie par la qualité supérieure du rendu et de la performance du travail. De plus, le BIM permettrait de réaliser des épargnes sur la conception et le travail d'ingénierie tout en accélérant la livraison du projet (Rosenberg, 2007). Le BIM, est un processus amélioré et un outil qui se démarque par la maintenance et la représentation numérique intégrée à chacune des phases d'un projet (Eastman et al. 2011; Azhar et al., 2012; Matarneh & Hamed, 2017; Barlish & Sullivan, 2012).

En plus, celui-ci se distingue dans l'industrie et dans le monde entier par le changement majeur qu'il apporte par rapport au processus de livraison du projet qui intègre les personnes, les systèmes et les structures d'un ouvrage collaboratif (Matarneh & Hamed, 2017).

Malgré les bénéfices importants attribuables au BIM, celui-ci s'intègre relativement lentement dans le secteur de la construction (Smith, 2014 ; Eastman, 2008). Cet état d'avancement s'explique par la présence à la fois de nombreux bénéfices, mais aussi de nombreux défis relatifs à l'intégration de la maquette 3D dans le milieu de la construction (Smith, 2014). En effet, selon la thèse de maîtrise menée par Sahil (2016) à l'Université d'État du Colorado, l'intégration du BIM peut amener des difficultés aux membres des équipes dans un projet. Plusieurs chercheurs expliquent aussi que, ce qui n'est pas toujours apparent avec les initiatives technologiques, c'est le concept d'optimisation conjointe d'une part de l'humain et de la technologie. En effet, dans plusieurs cas, la technologie a été améliorée au détriment des personnes concernées, ce qui a conduit à de nombreux échecs (Trist, 1981; Coakes & Elliman, T., 2002; Leonardi & Rodriguez-Lluesma, 2012). Dans la section qui suit, la *collaboration* sera décrite afin d'en dépeindre les caractéristiques et la manière dont elle s'articule dans le BIM.

1.4 La collaboration dans le BIM

La *collaboration* peut être définie comme l'accord entre différentes parties intéressées à mettre en commun leurs connaissances et leurs capacités dans un processus particulier afin de réaliser les objectifs d'un projet, défini par un client (Hobbs, 1996). Cela implique des collaborateurs qui partagent des renseignements et des processus en interagissant, en communiquant, en échangeant, en coordonnant, mais surtout en approuvant les décisions prises (Hobbs, 1996). Cela peut sembler simple à première vue, mais s'avérer très complexe dans les faits. En effet, dans une équipe, les membres ne partagent pas nécessairement les mêmes objectifs. Il est possible de faire un parallèle avec le BIM puisque différentes entreprises, ayant des spécialités diverses, doivent travailler ensemble à différents moments du cycle de construction pour insérer, extraire ou modifier de l'information afin de rendre un projet final conforme à l'objectif du client (Alreshidi, E., Mourshed, M., & Rezgui, Y., 2017). Le BIM apparaît, au premier abord, comme une nouvelle manière efficace de gérer les processus

communicationnels des projets interdisciplinaires. En effet, les promoteurs de l'approche BIM indiquent que toutes les parties prenantes profitent de son implémentation. Selon eux, les architectes, les ingénieurs, les estimateurs, les entrepreneurs, les sous-traitants, les fabricants, les opérations, etc. sont tous gagnants (Holzer, 2007). Cependant, dans l'industrie de la construction, les projets multidisciplinaires soulèvent des enjeux de confiance qui peuvent entraîner un manque de clarté des rôles, des responsabilités et d'interopérabilité (Alreshidia et al., 2017). Les questions qui restent souvent en suspens sont : comment et à qui attribuer les rôles et les tâches pour produire le modèle BIM (principalement sur les plans de la coordination et de la mise à jour du modèle)? Qui sont les responsables du modèle? À qui appartient le modèle final? Qui en détient le contrôle? (Azhar, 2011; Lindblad, 2013; Thompson & Miner, 2006; Arensman & Ozbek, 2012; Ussing Kjeld Svidt & Wandahl, 2016; Holzer, 2007). Ainsi, malgré l'effort soutenu de plusieurs organisations, chercheurs ou praticiens à garantir un environnement collaboratif pour adopter et intégrer le BIM à leurs pratiques, les défis et les obstacles restent encore présents aujourd'hui par rapport à la collaboration.

1.5 Définition de l'implémentation

Avant de poursuivre, il est important d'expliquer ce que l'*implémentation* signifie et de quelle manière ce terme sera utilisé dans ce document. En fait, ce terme peut avoir plusieurs connotations dans la littérature scientifique. Connaître la réelle signification de ce qu'est l'*implémentation en innovation* est important autant pour les chercheurs que pour les praticiens (Sackey, 2014). Selon Sackey, il est possible de dénoter trois grandes écoles de pensées qui ont dominé les théories de l'innovation : l'impératif technologique, l'impératif organisationnel et l'impératif sociotechnique. Dans cette recherche, la définition de l'*implémentation* se basera sur une perspective sociotechnique étant donné que les auteurs associés à ce type de pensée s'intéressent à l'interaction entre la technologie et la structure sociale d'une organisation et aux conséquences de ce type d'interaction (Markus & Silver, 2008). Ce type de perspective est donc en lien direct avec le but et les objectifs du projet. En effet, l'individu sera perçu dans ce projet comme complémentaire à la technologie plutôt qu'une extension de celle-ci (Trist, 1981) et nous nous intéresserons aux impacts de l'innovation dans les organisations. Cela dit, ce type de perspective permettra à ce projet de couvrir les différents types d'impact qui ont un impact

sur l'organisation à la suite d'un changement technologique (Sackey, 2014). La définition retenue de l'implémentation dans ce contexte : un processus d'adaptation et d'appropriation de la technologie BIM comme une stratégie organisationnelle qui considère les facteurs sociotechniques (contexte social et technologique) (Sackey, 2014).

1.6 Catégorisation des facteurs impactant l'implémentation du BIM

Il est intéressant de faire le constat qu'un ensemble considérable d'écrits acclament le BIM comme un outil révolutionnaire du monde de la construction. Selon Landrieu (2013), dans le cadre de son étude qui évalue les besoins en termes de disposition de données de construction sur le chantier (selon la modalité et la forme), le modèle BIM « *se revendique d'être un référentiel durant tout le cycle de vie du bâtiment. Cette définition constitue aujourd'hui un idéal non atteint* ». Selon les 36 participants retenus, majoritairement des étudiants en sciences sociales, ingénieries, collègues et salariés de l'école, dès qu'il existera une plateforme logicielle dédiée au BIM et que les pratiques se feront plus courantes, l'objectif pourra être atteint. Ce discours est similaire à celui de nombreux autres auteurs comme celui de Macher (2017) qui décrit le BIM comme une opportunité de répondre à des enjeux environnementaux et économiques qui pourrait être utilisé partout dans le monde. Néanmoins, cet enthousiasme entourant le BIM apporte une certaine inquiétude puisque la plupart des échecs viennent de la tendance des entreprises à répliquer un ensemble de règles tacites ou explicites de gouvernance TI bricolées à partir des meilleures pratiques d'autres sociétés (Nolan & McFarlan, 2005). En effet, l'étude entourant les stratégies de prise de décision, rend compte des initiatives d'un petit groupe d'entreprises formant un comité de gouvernance TI incluant Mellon Financial, Home Depot, Procter & Gamble, Wal-Mart et Fedex. Ainsi, à la suite de la lecture de divers auteurs sur le sujet, il a été possible de dénombrer des enjeux relatifs à l'implémentation du BIM au sein de plusieurs organisations internationales. Dans les paragraphes qui suivent, ces aspects seront décrits en commençant par les défis globaux d'implémentation et en poursuivant avec les enjeux spécifiques à la responsabilité par rapport au BIM.

Dans les ouvrages s'intéressant aux défis relatifs à l'implémentation du BIM certains regroupements de facteurs ont été réalisés. Ces regroupements comportent des similitudes et

des différences selon l'étude en question et l'impératif de l'auteur (ou des auteurs) (impératif technologique, organisationnel ou sociotechnique). Dans les sections qui suivent, les regroupements de facteurs seront présentés afin de faire la genèse des enjeux d'implémentation connus et de permettre de cerner les catégorisations existantes. L'impératif auquel les auteurs sont rattachés sera aussi énoncé pour être en mesure de capter l'ensemble des enjeux correspondant aux trois principaux paradigmes en innovation.

En se basant sur un ensemble de théories sur la diffusion de la technologie, incluant le Technology Acceptance Model (TAM), le Diffusion of Innovation (DOI), et le Task-Technology Fit (TTF), Mutai (2009) indique que les facteurs impactant l'utilisation du BIM peuvent être classés selon trois grandes catégories : le facteur humain, le facteur technologique et le facteur juridique et culturel (Mutai, 2009). La figure 2.2 illustre la division réalisée par l'auteur.

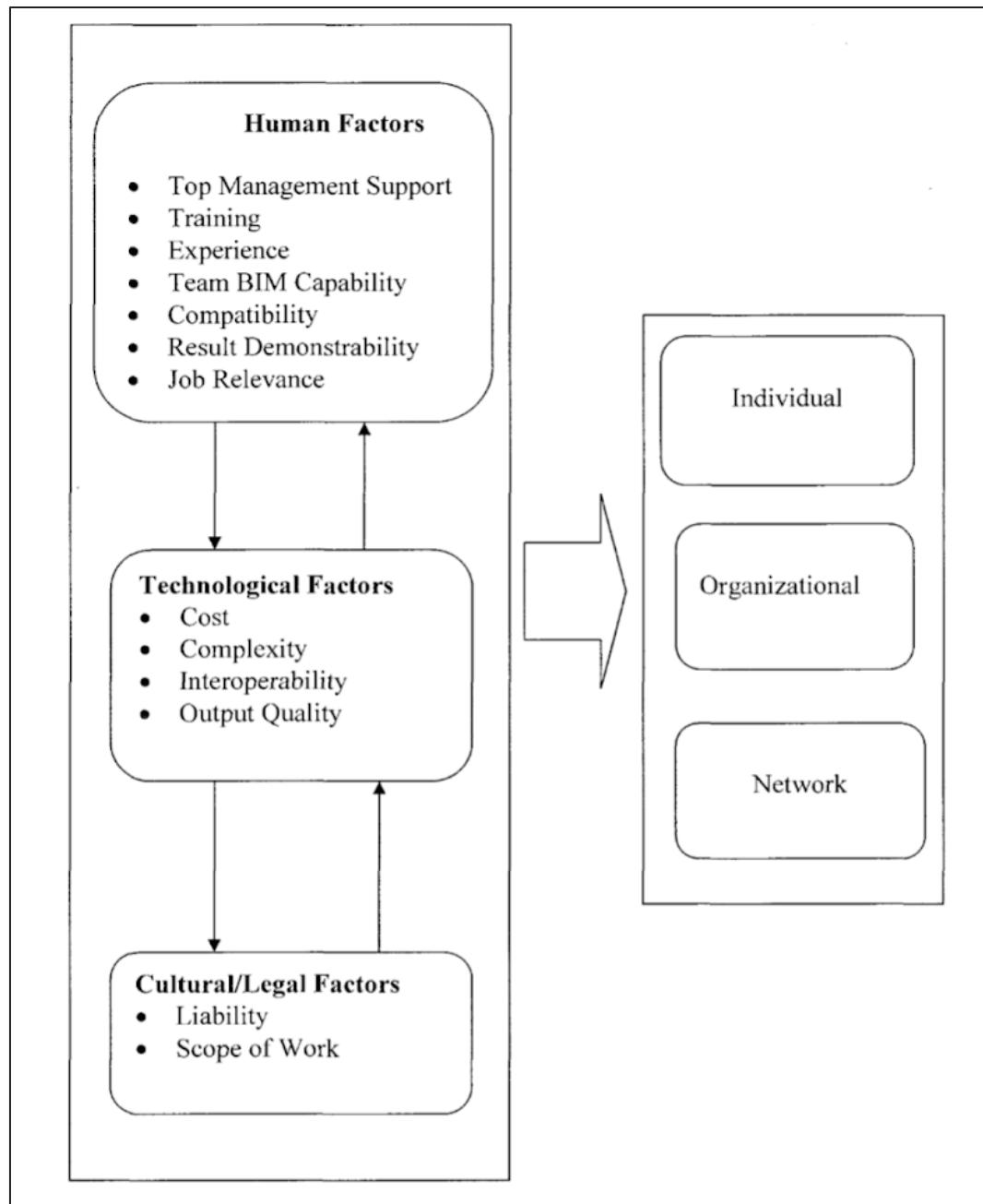


Figure 1.2 Regroupement des facteurs impactant l'utilisation du BIM selon Mutai (2009)
Tirée de Mutai (2009, p.64)

En ce qui a trait au facteur humain, l'auteur inclut les différentes influences sociales, qui touchent l'aspect comportemental, psychologique et les structures et processus sociaux dans les organisations telles que le soutien managérial, la formation, l'expérience des utilisateurs,

les capacités de l'équipe, la comptabilité, la démonstration des résultats et la pertinence du travail (Mutai, 2009). Par rapport à l'aspect technologique, Mutai (2009) fait référence à l'aspect financier de la technologie du BIM ainsi qu'aux différentes caractéristiques du BIM comme le coût de la technologie et des ressources humaines à investir pour l'utiliser, la complexité de la technologie en soi, l'interopérabilité du système et des logiciels BIM et la qualité du résultat obtenu en utilisant une plateforme BIM. Finalement, en référence aux facteurs culturel et juridique, l'auteur fait allusion aux aspects contractuels et législatifs entourant les pratiques des professionnels et les responsabilités juridiques leur incombeant par rapport à l'utilisation du BIM, notamment la responsabilité et l'étendue des travaux à effectuer (Mutai, 2009). L'auteur explique ainsi que ces regroupements de facteurs peuvent tous avoir un impact à différents niveaux. Ils peuvent avoir un impact organisationnel, social ou technologique.

Cela dit, il est possible d'identifier un regroupement similaire dans l'étude réalisée par Alreshidia et al. (2017) à l'Université de Cardiff sur les facteurs de gouvernance efficace BIM. Néanmoins, selon la répartition des facteurs impactant, les auteurs les ont scindés en cinq catégories/thèmes distincts plutôt qu'en trois. Ils ont séparé le volet contractuel (juridique) et ont ajouté l'aspect financier comme facteur indépendant. De plus, mentionnons la présence des aspects *social* et *technique* d'un auteur à l'autre. La figure 2.3 fait état de cette catégorisation.

BIM adoption barriers.	
Theme/category	Related barriers
Social-organisational	<ul style="list-style-type: none"> ● Resistance to change ● Lack of trust in and apprehension towards new technology ● Lack of BIM understanding ● Variations in practitioners' skills ● Lack of BIM training ● Lack of motivation ● Clients' awareness ● Adoption of traditional practices and standards ● Avoiding/hiding potential risks and liability for mistakes
Financial	<ul style="list-style-type: none"> ● BIM adoption cost ● Personal Indemnity Insurance (PII) is not covered ● BIM training cost ● Limited budget ● Expensive human-based services costs
Technical	<ul style="list-style-type: none"> ● Maturity of BIM-based technologies ● Interoperability issues ● Issues with existing BIM modelling and collaboration tools ● Massive data inputs/outputs ● Massive data and limited data storage ● Limited accessibility and access rights ● Lack of data sharing mechanisms ● Lack of data tracking, checking and versioning control mechanisms ● Difficulties coordinating large BIM models
Contractual	<ul style="list-style-type: none"> ● Lack of notification mechanisms ● Contractors benefit from confusion ● BIM contracts are not yet mature ● Lack of BIM-related aspects in current contracts ● Failure to address BIM legal concerns in current contracts ● Contracts need to accommodate changes in BIM collaborative environment
Legal	<ul style="list-style-type: none"> ● BIM models ownership: intellectual property and copyright concerns ● Liability for wrong or incomplete data ● Lack of legal considerations in existing BIM contracts ● Lack of legal framework for adopting collaborative BIM ● PII does not cover legal aspects of collaborative work

Figure 1.3 Les barrières à l'adoption du BIM selon Alreshidi et al. (2017)

Tirée de Alreshidi et al. (2017, p.92)

Ce constat semble aussi partagé par Sackey (2014), docteur de l'Université de Loughborough, qui a analysé de manière sociotechnique l'implémentation du BIM dans le domaine de la construction (Sackey, 2014). En effet, l'auteur a catégorisé les enjeux d'implémentation du BIM en quatre grandes catégories. La première fait référence au côté technique. Sackey explique que cette difficulté est, en partie, provoquée par les intérêts commerciaux qui empêchent le BIM d'échanger directement des données complètes et précises avec les autres disciplines qui emploient des produits/logiciels concurrentiels au BIM. En effet, en passant d'une plateforme BIM à une autre, il est fréquent de perdre des données du modèle (Sackey, 2014). Pour continuer, la seconde catégorie exprimée par Sackey (2014) fait référence à la structure de l'industrie. Effectivement, l'auteur fait référence au modèle économique fragmenté et au flux de travail séquentiel qui contraignent l'adoption des nouvelles pratiques BIM (Sackey, 2014). De plus, le manque de consensus sur l'approche à adopter, les coûts d'opération pour conserver la licence BIM, la perte de productivité durant la phase initiale d'implémentation et le défaut d'une vision commune entre les différents vendeurs de solutions BIM, contraignent également l'adoption de cette approche. Pour poursuivre, la troisième catégorie fait référence à l'aspect humain (Sackey, 2014). En effet, le BIM demande aux futurs utilisateurs d'acquérir ou d'avoir de grandes habiletés technologiques pour utiliser la gamme de produits BIM (Sackey, 2014). Finalement, la quatrième catégorie fait référence à la tâche. Sackey (2014) explique qu'il y aurait une absence de consensus groupal sur la définition de l'implémentation du BIM et sur sa signification et sur les priorités à mettre en place pour obtenir les bénéfices souhaités rapidement.

En ce qui a trait à cette catégorisation de facteurs offerte par Sackey (2014), il est intéressant de noter que l'auteur n'inclut pas l'aspect social de *résistance au changement*. Ce terme est utilisé communément dans les pratiques de gestion lorsque les gestionnaires croient avoir utilisé les meilleures pratiques de gestion, avoir fait preuve de leadership et avoir identifié les risques à encadrer, mais que les résultats ne sont pas à la hauteur de leurs attentes (Aubert et al., 2007). Néanmoins, selon Sackey, les obstacles sont plutôt liés à la structure de l'organisation. De plus, il est prouvé que, de manière générale, les employés comprennent les nouveaux objectifs et désirent les atteindre, mais que certains obstacles les empêchent

d'avancer (Dent & Goldberg, 1999). Cette vision de la résistance est analogue à celle de Lewin qui affirme que la résistance s'exprime à différents endroits dans un système, mais que la probabilité que cette résistance soit individuelle est faible dans la majorité des cas (Dent & Goldberg, 1999).

Puis, Charles M. Eastman, professeur au collège Georgia Institute of Technology, a lui aussi effectué dans son livre *BIM Handbook* une catégorisation des barrières face à l'adoption du BIM. Cette catégorisation compte deux principales catégories de facteurs : **Les barrières en lien avec les processus organisationnels**, incluant les enjeux juridiques et organisationnels ainsi que **les barrières en lien avec la technologie**, incluant la rigidité de la technologie et de son implémentation (Eastman et al., 2011). Cela dit, selon l'auteur, à condition d'être bien intégrée, le BIM est toujours relié à une combinaison d'attitudes/de visions et à une approche managériale vers la collaboration (Eastman et al., 2011).

1.7 Les facteurs en lien avec les enjeux d'implémentation du BIM

Les différentes catégorisations illustrées précédemment ont été choisies en raison de leur capacité à représenter globalement des enjeux liés à l'implémentation du BIM dans l'industrie de la construction. De ce fait, les facteurs relatifs s'y rapportant ont pu être décrits dans un ensemble considérable d'ouvrages. La section suivante permettra de décrire chacun des facteurs selon la logique de Mutai (2009) en portant une attention aux trois grandes catégories : le facteur humain, le facteur technologique et le facteur culturel/juridique. Cette division permettra de tenir compte de l'ensemble des perspectives sur le sujet puisque l'objectif est de mieux comprendre les enjeux d'implémentation dans leur globalité.

L'organisation de la revue de la littérature est conforme à la classification de Mutai (2009). Néanmoins, l'utilisation des sous-catégories a été restreinte parce que plusieurs sous-catégories s'entrecoupaient. Nous avons décidé d'utiliser les 3 grandes catégories (humain, technologique et culturel/juridique) pour bâtir notre revue en regroupant certaines d'entre-elles. Par exemple, l'expérience, la formation et les compétences appartiennent à un seul et même regroupement étant donné la similitude et l'interrelation des explications les concernant.

1.7.1 Facteur humain

Dans cette première portion, nous décrirons le facteur humain en discutant des thèmes qui y sont liés, soient : la collaboration, la compatibilité, la formation/compétence, le soutien de la direction et la responsabilité individuelle.

1.7.1.1 Collaboration

La collaboration est au cœur de l'approche BIM. Effectivement, les projets de construction requièrent du travail collaboratif pour échanger l'information pertinente à la conception et à la réalisation d'un projet. Néanmoins, étant donné que ce sont des projets multidisciplinaires, l'accord des parties prenantes est essentiel pour une bonne collaboration (Lindblad, 2013). Cela dit, il a été observé que la collaboration pouvait être difficile avec le BIM. Plusieurs études soutiennent que l'environnement de travail collaboratif est encore aujourd'hui un défi majeur pour le BIM (Sahil, 2016; Lindblad, 2013; Thompson & Miner, 2006; Holzer, 2016). Selon les répondants à l'étude de Sahil (2016) sur l'adoption du BIM dans les pays en développement, ce défi pourrait se résoudre quand les utilisateurs seront habitués au BIM et aux méthodes de travail collaboratives. Selon cette étude, l'effort des participants est essentiel et vital pour le BIM. Ceux-ci doivent valider constamment leur travail et recevoir l'accord des autres parties. L'enjeu de collaboration, selon les participants à l'étude, viendrait du manque de compétence et de compréhension par rapport au travail collaboratif et à leur travail (Sahil, 2016). Toutefois, selon la recherche menée par Lindblad (2013) sur le processus d'implémentation du BIM dans les projets de construction, l'enjeu de collaboration serait surtout lié aux nouvelles exigences introduites pour assurer l'efficacité de l'échange d'information. En effet, l'étude explique que le BIM n'est pas seulement un outil dans la phase de conception de projet, mais plutôt une interface qui permet l'échange d'information entre les acteurs et les phases du projet (Lindblad, 2013). Les caractéristiques uniques de l'outil engendrent donc des défis d'échange d'information attribuables aux capacités inadéquates du système (Lindblad, 2013). L'auteur affirme aussi que des difficultés de collaboration peuvent survenir en raison de la nécessité de réaliser des changements de rôles des parties prenantes dans le projet, d'établir de nouvelles relations contractuelles et de créer un processus structuré et formel de collaboration (Lindblad, 2013). Ce nouveau processus semble aussi être un enjeu aux yeux des participants de la

recherche décrite précédemment, puisque ses auteurs estiment qu'il existe un déséquilibre entre les personnes qui utilisent la technologie BIM et celles qui ne l'utilisent pas dans les projets (Sahil, 2016). Les habitudes de travail semblent alors difficiles à changer pour la plupart des utilisateurs. Thompson et Miner (2006) expliquent, quant à eux, dans leur étude sur les risques contractuels entourant le BIM, que la ligne de démarcation entre le concepteur et le constructeur devient floue dans le mode collaboratif de projets virtuels en ligne où des individus travaillent sur un ensemble de données communes. En effet, selon l'auteur, plus la collaboration s'accentue, plus les lignes de démarcation traditionnelles en lien avec la responsabilité deviennent ambiguës (Thompson & Miner, 2006). Cette constatation est soutenue par les participants de la recherche de Sahil (2016), mais ceux-ci semblent aussi croire que les raisons sous-jacentes sont directement attribuables au manque de confiance et à la crainte des compagnies et des concepteurs face à l'utilisation de leurs informations exclusives (Sahil, 2016). Une hypothèse soulevée par Holzer dans ses travaux sur la structure collaborative du BIM explique que l'incertitude en lien avec les processus collaboratifs apparaît, dans la majorité des cas, au cours des premières étapes de projet (Holzer, 2016). Cela dit, la collaboration reste encore un enjeu interprété et compris de différentes manières dans la mise en œuvre du BIM. Selon les auteurs, le BIM peut être perçu comme soulevant des enjeux technologique et humain. Finalement, même dans un contexte où l'information de conception est réalisée dans un environnement collaboratif idéal, la capacité de déterminer quelles sont les responsabilités de chacun quant aux inexacititudes du modèle se révèle aussi être problématique (Lindblad, 2013). Alors, « *Comment répartir les risques équitablement?* » devient une question sans réponse pour la plupart des utilisateurs (Lindblad, 2013). Cette notion d'enjeu de responsabilité sera décrite ultérieurement.

1.7.1.2 Compatibilité

Le second enjeu fait référence à la notion de compatibilité de la technologie par rapport à l'utilisateur. En effet, dans les enjeux d'implémentation, la notion de compatibilité est évoquée fréquemment par plusieurs auteurs (Sahil, 2016; Mutai, 2009; Sackey, 2014). La notion de compatibilité est définie comme « *La mesure selon laquelle une innovation est perçue comme étant compatible avec les valeurs, les besoins et les expériences passées des potentiels utilisateurs* » (Mutai, 2009). Cette notion est depuis longtemps vue comme une variable

importante qui impacte l'adaptation à une innovation (Premkumar & Potter, 1995). Ces auteurs expliquent qu'une innovation technologique nécessite une validité autant technique qu'organisationnelle. Cette notion a été perçue comme une barrière à l'implémentation dans les travaux de Sahil (2016) étant donné les fausses idées entourant le BIM. En effet, selon les participants de la recherche, il y a un manque d'éducation par rapport au BIM. L'auteur explique qu'une grande majorité de personnes utilisant Revit ont l'impression de faire du BIM uniquement parce que le logiciel d'architecture permet de créer des modèles 3D de bâtiment et est considéré comme un outil BIM (Sahil, 2016). Cette perception tente d'expliquer que «*[...]there is something lost in translation where design teams and a lot of people are not really looking into the issues that they should be finding because they think the model is going to find it for them and it is not happening.* » (Sahil, 2016). Cette compréhension, en ce qui concerne le BIM dans les travaux de Sahil (2016), permet d'observer l'évolution des perceptions des utilisateurs et de voir que le BIM est perçu comme un outil non compatible avec leurs besoins. Les participants de l'étude ont expliqué qu'il existe beaucoup d'idées fausses concernant le BIM et que celles-ci ont potentiellement joué un rôle considérable dans le processus d'implémentation (Sahil, 2016). Pour continuer, selon les recherches d'Antony Mutai (2009) sur les facteurs impactant l'utilisation du BIM dans les firmes de construction aux États-Unis, l'implémentation du BIM apporte plusieurs changements de processus, que ce soit sur le plan de la conception, de la gestion de projet, des méthodes de travail des parties prenantes ou bien de la structure hiérarchique (Eastman et al., 2011; Ashcrafts, 2008; Jin et al., 2017; Mutai, 2009). Ces changements viendraient nuire, dans certains cas, aux utilisateurs en interférant sur leur créativité. En somme, l'idée du BIM idéale ne semble pas correspondre à celle des utilisateurs, dans certains cas, puisqu'elle ne parvient pas à répondre aux besoins et aux attentes des utilisateurs.

1.7.1.2 Formation/ Compétence

En décidant d'implémenter le BIM dans une organisation, la formation des utilisateurs est cruciale pour garantir une utilisation adéquate de la nouvelle technologie. Cette formation permet aux utilisateurs de contribuer aux changements de l'environnement de travail

(Lindblad, 2013). Toutefois, cette formation doit être personnalisée en fonction des rôles et des responsabilités des utilisateurs dans le projet. Les utilisateurs effectuent une transition vers un nouveau paradigme de pensée, puisqu'ils doivent acquérir de nouvelles aptitudes, apprendre et intégrer une nouvelle manière de travailler, en favorisant le travail collaboratif et l'amélioration continue, sans oublier le volet technique (Sackey, 2014). Cela dit, plusieurs auteurs s'entendent pour dire que le manque de connaissances et de compétences par rapport au BIM est l'un des facteurs primaires qui empêchent la pleine implémentation du BIM dans l'industrie de la construction (Lindblad, 2013; Sackey, 2014; Mutai 2009; Bosch-Sijtsema, P., Isaksson, A., Lennartsson, M., & Linderoth, H. C., 2017). En effet, il est dit que l'expertise et les connaissances manquent autant pour les clients, pour les consultants que pour les différentes parties prenantes à l'intérieur des organisations (Lindblad, 2013). Ce manque de formation est expliqué par Eastman et al. (2011) par un manque de budget dans certaines organisations. Le coût de la formation peut être plus grand que celui de l'achat de la technologie. Ces coûts peuvent entraîner de la réticence de la part de certaines organisations intéressées par le BIM. Cet investissement impact positivement les résultats à long terme (Eastman et al., 2011). Certaines situations comme l'intégration du BIM sans formation adéquate peuvent alors se produire et empêcher les participants d'utiliser et de comprendre correctement le BIM dans toute sa complexité (Eastman et al., 2011). Sans la formation appropriée, les utilisateurs de la technologie prennent le temps d'apprendre et d'utiliser seulement certaines capacités de la technologie dont ils ont besoin. Selon Eastman et al. (2011), utiliser un modèle 3D sans la formation ni les comportements BIM ne pourra pas mener à l'implémentation véritable de la modélisation des données d'un bâtiment (BIM). Puis, selon Mutai (2009), l'environnement BIM nécessite la participation d'intervenants compétents, et l'adoption d'une méthodologie organisationnelle qui le soutient. Cependant, comme l'indique Eastman et al. (2011) et Mutai (2009), ce défi est considérable. Il est difficile de veiller à ce que tous les participants qui utilisent le BIM soient réellement habilités à le faire. Les auteurs s'entendent pour dire que sans une pleine compréhension des utilisateurs, les risques de dériver des valeurs et des bénéfices du BIM sont élevés. Bref, non seulement la formation et les compétences sont des enjeux potentiels, mais la prise en charge et la gestion des organisations face au BIM joue un rôle prédominant dans l'implémentation. Vouloir absolument faire du BIM et décider de le

mettre en œuvre sans avoir les ressources financières, humaines et technologiques entraîne les firmes vers des enjeux importants.

1.7.1.4 Soutien de la direction

Selon Alain Rondeau et al. (2005), professeur titulaire et directeur du centre d'études en transformation des organisations à l'HEC Montréal, le soutien de la haute direction fait partie des facteurs généralement associés au succès de la mise en œuvre d'un changement. Avec l'adoption du BIM, les rôles de la haute direction dans le changement de paradigme ont alors un impact très important pour la bonne conduite de l'implémentation. La nouvelle approche favorisant le cycle de vie complet d'un projet de construction demande une approche collaborative intégrée (Lindblad, 2013). Pour cela, les futurs utilisateurs, les gestionnaires, les entrepreneurs et les sous-traitants ont tous un rôle à jouer dans la planification et la conception des phases de projet. Cela reflète la transition vers les nouveaux rôles des participants suivant les méthodes de l'implémentation du BIM (Sebastian, 2011). Néanmoins, selon les participants de la recherche de Mutai (2009), il est à noter que le soutien de la haute direction n'est pas toujours au rendez-vous et que cela engendre des obstacles supplémentaires. En effet, le manque de soutien envers les membres de l'organisation entraîne un manque de motivation pour les futurs utilisateurs (Mutai, 2009). Plusieurs études ont montré que les gestionnaires de projet pouvaient bloquer la diffusion du BIM s'ils ne percevaient pas clairement les bénéfices liés à l'utilisation du BIM dans leur projet respectif. Le soutien de la direction est essentiel pour de nombreux aspects interreliés qui pourraient être les causes des enjeux d'implémentation comme le choix de la technologie, le budget, la culture organisationnelle, la formation, etc. (Foster, 2008). De plus, afin de mener à bien un projet BIM, les gestionnaires doivent soutenir le changement et le nouveau modèle organisationnel (Lindblad, 2013). Il devient donc inconcevable que les décideurs ne soient pas impliqués dans la gestion du changement étant donné que le BIM demande de revoir les processus internes et externes (Lindblad, 2013). Malgré tout, « *However, the management of this collaborative process and the implementation of BIM as ICT support are still suboptimal in practice*» (Sebastian, 2011). Encore aujourd'hui, le partage des risques et de la performance reste un processus sous-développé en Amérique. Selon Leon L. Foster (2008), ce type de partage n'est pas évident à atteindre pour des firmes avec différentes cultures et des intérêts économiques individuels.

Bref, les différents éléments énoncés ci-haut montrent l'importance que doit accorder la haute direction à ce type de virage.

1.7.1.5 Responsabilité individuelle

Comme nous l'avons expliqué dans la section précédente, nous avons porté une attention particulière aux enjeux de responsabilité dans la revue de littérature étant donné qu'il représente la cible de la recherche. Selon les auteurs, il serait possible de distinguer deux types d'enjeux de responsabilité. Le premier enjeu, décrit dans les paragraphes qui suivent, fait référence aux responsabilités individuelles comme une description de tâches à accomplir selon la fonction ou le rôle d'un individu dans un projet. Le second enjeu sera décrit ultérieurement dans la section des facteurs culturels et juridiques.

Selon Thompson & Miner (2006), l'accroissement de l'importance des processus collaboratifs dans l'industrie de la construction rend floues les frontières traditionnelles qui délimitent les rôles et responsabilités de chacun dans un projet. En effet, selon Faber & Wandahl (2014), de nouveaux problèmes de responsabilité inconnus sont survenus avec le BIM. Normalement, les données CAO des sous-traitants étaient fournies aux responsables du projet pour être utilisées en totalité (Faber & Wandahl, 2014). Avec le changement apporté par le BIM les participants vivraient potentiellement des émotions négatives face à l'inconnu et des questionnements quant à la nouvelle distribution des rôles et des responsabilités dans un projet (Azhar, 2011; Lindblad, 2013; Rosenberg, 2007; Thompson & Miner, 2006 ; Arensman & Ozbek, 2012 ; Mutai, 2009 ; Faber & Wandahl, 2016; Sackey, 2014). Pour ce qui est du premier enjeu de responsabilité, celui-ci devient un enjeu dans le contexte du BIM étant donné qu'il n'y a pas de consensus clairement défini pour déterminer comment le travail devrait être réorganisé dans un contexte collaboratif et comment les rôles et les responsabilités devraient être assignés (Azhar, 2011). Foster (2008) explique aussi que les tâches et les responsabilités des gestionnaires du modèle ne sont pas établies de manière uniforme dans l'industrie de la construction. Selon l'auteur, cette distribution des rôles et responsabilités dépend de différents facteurs comme des besoins du projet et du processus accepté par les participants dans le modèle (Foster, 2008). De plus, afin de rendre le BIM plus efficient, Lindblad (2013) explique que les changements liés aux rôles et responsabilités devraient être discutés dès les premières

étapes du projet. Cela dit, les changements et la nouvelle distribution des rôles et responsabilités peuvent entraîner beaucoup de risques que peu d'individus sont prêts à assumer (Rosenberg, 2007). Par exemple, le gestionnaire du modèle qui s'assure de la coordination et de la mise à jour pourrait aussi avoir comme mandat de s'assurer de la validité des données intégrées (Foster, 2008).

Le manque de clarté par rapport aux limites de sa responsabilité cause alors de l'inertie et de l'ambiguïté dans certains projets (Mutai, 2009). En plus, ce type de responsabilité peut exposer les participants à des enjeux juridiques (Foster, 2008). Le déploiement de la technologie change alors les frontières entre les disciplines. Selon les experts, être en mesure de faire une démarcation claire des responsabilités individuelles devient une tâche ardue (Sackey, 2014). Selon Smith (2014), le nombre de participants dans un projet de construction qui œuvrent à la précision et à la qualité de l'information pourrait être l'un des facteurs qui complexifient la tâche. De plus, le fait de partager les responsabilités et les risques veut aussi dire partager les gains selon le BIM (Lindblad, 2013). En effet, les économies financières dues à l'augmentation de la productivité devraient selon le BIM être partagées entre les membres du projet (Eastman et al., 2011). Malheureusement, il n'est pas possible d'observer ce type de partage de manière générale dans les firmes de construction puisqu'aucun type de compensation n'est encore standardisé (Lindblad, 2013). Au bout du compte, les changements introduits par l'arrivée du BIM dans l'industrie amènent énormément de bouleversements dans les pratiques et dans les normes de travail. Cela cause, par le fait même, de grands risques d'ambiguïté dans la distribution des responsabilités (Mutai, 2009). Selon Mutai (2009), les difficultés ne seraient cependant pas causées par la technologie en soi, mais plutôt par la culture de travail existante qui a précédemment influée la délimitation des responsabilités entre les disciplines, causant des silos organisationnels. En effet, comme Rosenberg (2007) l'explique, les professionnels comme les architectes, les ingénieurs et les autres contributeurs à un projet de construction ont l'habitude de s'approprier la responsabilité d'une partie du projet et cela représente aussi une forme de pouvoir décisionnel respectif. Finalement, le développement d'un protocole particulier pour établir les rôles et responsabilités entre les disciplines, pour le partage d'un

modèle commun et pour favoriser la communication, reste encore un idéal non atteint (Alreshidia et al., 2017).

1.7.2 Facteur technologique

Dans cette deuxième portion, nous décrirons le facteur technologique en discutant des thèmes qui y sont liés soient : la complexité du modèle, l'interopérabilité, la démonstration des avantages et, enfin, les coûts.

1.7.2.1 Complexité du modèle

Il est important de distinguer ce qui est compliqué de ce qui est complexe en organisation. En effet, trop souvent le terme *compliqué* sert à décrire une situation ou un phénomène complexe. Néanmoins, le terme *complexe* est utilisé pour décrire une situation dans laquelle nous ne disposons pas d'assez d'information pour la comprendre en totalité ou y trouver une solution instantanée (Larousse, 2018). Tandis que *compliqué* s'apparente plus à la définition du mot *difficile* (Larousse, 2018). Pour une organisation où le BIM, par exemple, s'intègre dans différents systèmes, le terme *complexe* sera utilisé comme une incapacité à voir ou à comprendre l'ensemble des liens qui peuvent exister au sein des systèmes. En innovation, Rogers (2010) définit la complexité d'une innovation comme le degré selon lequel une innovation est perçue comme relativement difficile à comprendre et à utiliser. Cela dit, plusieurs chercheurs ont montré que la complexité d'une technologie était un facteur important qui impacte l'adaptation (Mutai, 2009). Théoriquement, la technologie BIM vise à regrouper l'ensemble de l'information dans un même entrepôt de données. Effectivement qu'elle soit « *Changes to design, whether architectural, structural, mechanical, or electrical all occur within the model. Contractor and supplier information is integrated into the model, adding more detail to the design* » (Foster, 2008). Ce modèle sert par la suite à produire les dessins d'ateliers et les plans de construction (Eastman and al. 2011). Ce niveau d'intégration de la technologie BIM a pu être observé dans certains processus manufacturiers, mais ne représente pas la réalité dans le domaine de la construction. En effet, il est rare de voir un seul modèle partagé. Pourtant, avec le modèle BIM, nous pouvons résoudre beaucoup de problèmes grâce à notre capacité de voir le projet en 3D directement (Denzer & Hedges, 2008). Selon l'étude de Denzer & Hedges (2008), *From CAD to BIM : Educational Strategies for the Coming*

Paradigm Shift, « BIM software program are significantly more complex than CAD tools, and thus BIM requires space in the curriculum that CAD does not ». On comprend alors que le BIM génère des difficultés d'apprentissage en raison de sa grande complexité. De plus, selon les auteurs, les étudiants auraient une forte tendance à se sentir submergés par le logiciel BIM s'il n'est pas introduit progressivement et systématiquement. Ainsi, on peut en déduire que la formation des organisations au BIM devrait aussi être soigneusement calibrée pour favoriser la maturité intellectuelle des utilisateurs (Denzer et Hedges, 2008). Le plus gros enjeu selon Seletsky (2006), serait la transformation du processus éducatif traditionnel en architecture vers un processus basé sur l'incorporation du BIM comme processus et non comme outil technologique.

1.7.2.2 Interopérabilité

L'interopérabilité dans le BIM se définit comme le besoin d'échanger l'information entre les différentes applications du BIM qui permettent aux multiples experts de la construction de contribuer à la conception et à la construction (Mutai, 2009). À travers le BIM, l'interopérabilité devient essentielle puisqu'un échange (si anodin soit-il) peut être vital pour assurer l'intégrité et éviter les doublons d'entrées de données (Mutai, 2009). Un ensemble considérable d'auteurs ont spécifiquement dénoté cette capacité comme étant une barrière à l'implémentation du BIM (Mutai, 2009; Sahil, 2016; Azhar, 2011; Enoch, 2014; Roger, 2015; Migilinskas, Popov, Juocevicius, & Ustinovichius, 2013, Howell & Batcheler, 2005; Alreshidia et al., 2017; Thompson & Miner, 2006). Les auteurs s'entendent pour dire que les problèmes d'interopérabilité peuvent avoir des effets dévastateurs sur l'adoption du BIM. Selon Sackey (2014), les plateformes BIM actuelles telles que Revit, Bentley, ArchiCAD, Tekla et Vectorworks ne permettent pas d'échanger directement l'information et causent parfois des distorsions ou une perte d'information lors des échanges (Sackey, 2014). Selon Landrieu (2013), l'interopérabilité s'avèrerait être un problème d'implémentation, du moins aux yeux des architectes en France qui sont encore majoritairement réticents à adopter le BIM. Gu & London (2010) explique que les différentes versions des modèles dans le BIM peuvent engendrer des pertes de données et des problèmes de compatibilité si les différentes versions du logiciel sont utilisées par différents membres d'un projet. Cela peut s'expliquer par le manque d'une plateforme commune, malgré le caractère collaboratif et la normalisation prônés

par le BIM (Roger, 2015). Cet enjeu d'interopérabilité nuit alors à la collaboration en raison de la distorsion présente d'un modèle à un autre (Migilinskasa et al., 2013) et peut entraîner des coûts dus à une interopérabilité insuffisante (Howell and Batcheler, 2007). Selon l'Institut National de Standards et de Technologie (NIST), 15,8 milliards de dollars par année sont gaspillés en raison d'une interopérabilité inadéquate (Gallaher & O'Connor, 2004). Malheureusement, comme l'indique Thompson & Miner (2010), à mesure que la collaboration augmente dans le monde de la construction, les responsabilités traditionnelles se dissolvent et les contrats ne prévoient pas une répartition adéquate des risques. Donc, les normes de l'industrie et l'interopérabilité restent des problèmes à résoudre (Thompson & Miner, 2006). Dans la figure 1.4, il est possible de reconnaître les changements entre le mode traditionnel et celui du BIM relatifs à l'échange de données entre les différents parties prenantes d'un projet.

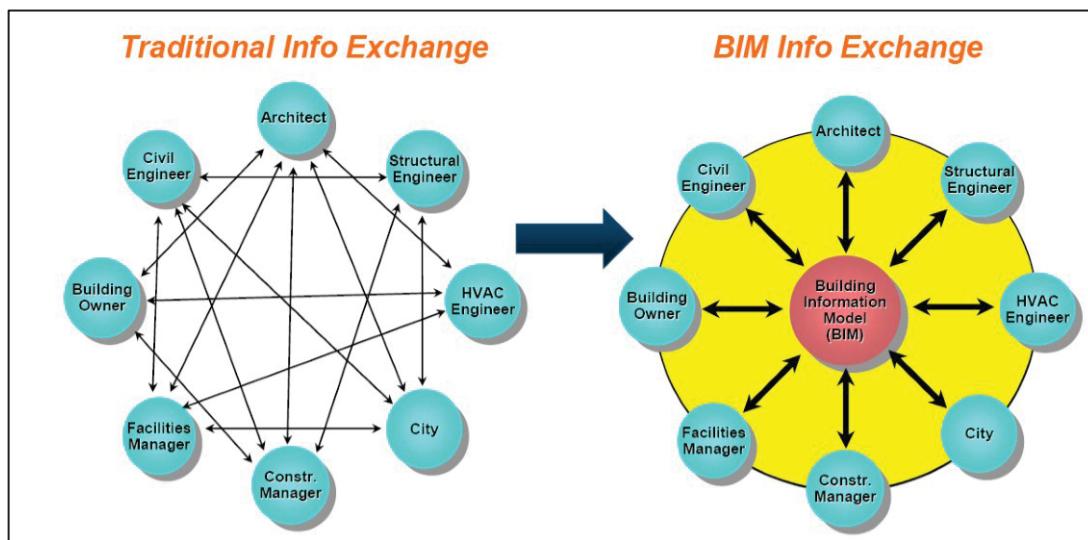


Figure 1.4 Représentation du concept d'interopérabilité par Foster (2008)
Tirée de Foster (2008, p.30)

1.7.2.3 Démonstration des avantages

Être en mesure de démontrer l'impact du BIM sur les résultats n'est pas une tâche simple selon Mutai (2009). Selon une étude conduite par Matarneh & Hamed (2017) sur les facteurs impactant l'implémentation du BIM dans le domaine de la construction en Jordanie, le manque de connaissances par rapport aux bénéfices et au potentiel BIM fait partie des quatre principaux

obstacles qui ont le plus d'effets sur l'implémentation du BIM. En effet, selon le sondage conduit dans la recherche, plus de 90 % de l'échantillon composé de 180 participants (architectes, ingénieurs, entrepreneurs, clients, manufacturiers, etc.) explique que le manque de compréhension sur les avantages du BIM nuit à l'intention et la motivation de l'implémenter dans le secteur de la construction. Certains chercheurs ont montré que la démonstration des résultats positifs était pourtant un des aspects les plus significatifs qui affectaient l'intention des utilisateurs potentiels à utiliser une technologie (Agarwal & Prasad, 1997). Les résultats de la recherche de Mutai (2009) vont dans le même sens. La capacité à justifier le retour sur l'investissement était décrite par les participants de l'étude comme une variable qui affectait l'utilisation du BIM en organisation. De plus, Smith (2014) indique que les résultats empiriques décrivent une forte association entre la satisfaction des utilisateurs et les bénéfices nets d'une technologie. Cela dit, la perception des utilisateurs face au système doit rester positive par l'entremise de la démonstration de résultats financiers qui correspondent à leurs attentes et qui répondent à leurs besoins. Malheureusement, ce type de démonstration peut être coûteuse et chronophage. Les utilisateurs se voient alors contraints, dans certain cas, de ne pas pouvoir expérimenter une appréciation globale du processus BIM (Mutai, 2009).

1.7.2.4 Coûts

Avant d'entreprendre les démarches pour intégrer le BIM, différentes questions s'imposent. Par exemple, le budget organisationnel est-il suffisant pour bien appuyer le BIM ? Cette question simple en apparence ne l'est pas. Puisque le BIM ne se décrit pas uniquement comme un outil technique, les coûts de son implémentation peuvent s'étendre à différents niveaux. De plus, il devient difficile de clarifier à qui revient la tâche de débourser les frais de mise en œuvre étant donné l'environnement collaboratif qu'apporte le BIM. Selon Landrieu (2013), l'acquisition de licences, la formation, les adaptations méthodologiques engendrent des frais relatifs qui doivent être acquittés par un tiers ou répartis entre plusieurs payeurs. Par ailleurs, les petites ou moyennes firmes de construction considèrent que l'investissement financier que nécessite le BIM est tellement grand qu'elles ne voient pas l'intérêt d'y consacrer autant d'argent (Sackey, 2014). Cette constatation a pu aussi être répertoriée dans de nombreuses autres études comme celle de Matarneh & Hamed (2017) où 75 % des répondants indiquaient que l'adoption du BIM est trop coûteuse par rapport à son retour sur l'investissement. De plus,

Liu, S., Xie, B., Tivendal, L., & Liu, C. (2015) dénombrent plusieurs autres aspects qui exigent de débourser des fonds. Par exemple, la formation à différents niveaux, le recrutement de nouveau personnel qualifié, la technologie en soi, etc. Enfin, le coût associé au nouveau processus est encore un obstacle aujourd’hui pour de nombreuses entreprises. La répartition des frais est une solution rarement observée dans l’industrie de la construction (Landrieu, 2013).

1.7.3 Facteur culturel/juridique

Dans cette troisième portion, nous décrirons le facteur culturel/juridique en discutant des thèmes qui y sont liés soient : la propriété intellectuelle, la culture et la responsabilité pénale et juridique.

1.7.3.1 Propriété intellectuelle

Selon la publication du Gouvernement du Québec (2020) en matière de propriété intellectuelle, ce terme est défini comme « *un droit sur une idée, une invention ou une création du domaine industriel, scientifique [...] un dessin industriel ou un modèle à usage commercial. Avoir un droit de propriété intellectuelle exclusif sur vos créations représente particulièrement un atout concurrentiel [...] et vous permet d'être les seules à pouvoir tirer profit [...] d'empêcher la concurrence de copier ou d'imiter vos produits, etc.* ». Ainsi, « Comment protéger la propriété intellectuelle, dans une approche de partage et de mutualisation de l’information » (Landrieu, 2013)? C'est une question que plusieurs chercheurs et organisations mêlés au processus d'implémentation du BIM tentent de démystifier (Azhar, 2011; Lindblad, 2013 ; Thompson & Miner, 2006; Landrieu, 2013; Foster, 2008; Liu et al., 2015; Rosenberg 2007). En effet, selon Azhar (2011), la difficulté de déterminer à qui appartient l’information contenue dans le BIM, comment protéger la propriété intellectuelle et les autres aspects juridiques entourant la modélisation à la fin du projet sont pour lui les principaux enjeux de l’implémentation en organisation. L’enjeu de propriété intellectuelle se concrétise de différentes manières. Par exemple, si le client paie pour la conception, celui-ci devrait se sentir en droit de posséder la modélisation, mais si les membres de l’équipe de projet fournissent des données exclusives pour utilisation dans le projet, leurs propriétés intellectuelles doivent être protégées aussi (Azhar, 2011). Cet enjeu est aussi observé par Lindblad (2013) qui explique que l’un des

éléments les plus critiques dans un projet BIM est la propriété intellectuelle. En effet, les auteurs expliquent que le succès de ce type de projet repose sur le changement de modèle de gestion pour répondre aux besoins de l'industrie. Comme le souligne Azhar (2011), la solution idéale serait de revoir le document contractuel de droit d'auteurs et de responsabilités. En se référant à Thompson & Miner (2006), on comprend aussi que la technologie BIM peut entraîner des enjeux et des risques qui n'ont pas été encore élucidés. La délimitation des droits d'auteurs devient floue et cela peut mener à des litiges par rapport aux éléments du projet susceptibles d'être utilisés ultérieurement dans un autre projet, mais sans autorisation (Foster, 2008). Par ailleurs, cette problématique comporte un autre aspect de taille. Le risque de partage par inadvertance de données secrètes ou commerciales ou de brevets qui mettrait en péril les droits de propriété intellectuelle (Foster, 2008). Selon Liu et al. (2015), la confidentialité et la sécurité du modèle BIM se heurtent à plusieurs enjeux de sécurité juridique due aux différentes connexions de l'environnement administratif électronique. Effectivement, comme l'explique Rosenberg (2007), avec une multitude de parties prenantes qui contribuent à la conception du projet, le partage d'information complexifie la possibilité de déterminer avec certitude qui est le propriétaire du modèle. Finalement, selon les auteurs cités précédemment, les changements techniques et socio-organisationnels devraient s'accorder avec le développement du BIM pour être en mesure de solutionner ces enjeux et défis (Liu et al. 2015).

1.7.3.2 Culture

La culture organisationnelle se définit comme « *l'ensemble des postulats, des valeurs et des croyances partagés qui régissent la manière de réfléchir et de se comporter dans une organisation* » (Bertrand, 2011). En effet, selon ces auteurs, ce concept sert à expliquer les phénomènes en organisation à l'image d'une mini-société à part entière. Certains auteurs affirment que la culture de ladite organisation pourrait avoir un impact considérable sur l'implémentation du BIM (Sahil, 2016; Mutai, 2009; Smith, 2014 ; Bosch-Sijtsema, 2017; Sackey, 2014; Jin et al. 2017). Selon Sahil (2016), un enjeu de culture relatif au BIM demeure la difficulté d'obtenir l'accord de tous et de favoriser une opinion positive face aux défis qu'engendre l'utilisation du BIM pour la première fois. Ce consensus requiert l'engagement de l'organisation pour amorcer l'implémentation (Sahil, 2016). Cependant, pour bénéficier des occasions que le BIM peut apporter à l'industrie de la construction (notamment, la fin de la

division des disciplines et l'adoption d'une approche collaborative), les entreprises doivent être prêtes à changer leur modèle d'affaires (Mutai, 2009). Pour ce faire, les hauts gestionnaires doivent accepter de participer activement au projet et valoriser la vision de l'adoption de cette technologie (Mutai, 2008).

De plus, dans l'étude de Bosch-Sijtsema et al. (2017), les répondants mentionnent que la culture dans le domaine de la construction se concentre beaucoup sur les aspects financiers d'un projet. La compétition est très forte dans ce domaine (Bosch-Sijtsema et al. 2017). Sackey (2014) explique que le BIM nécessite un changement radical des méthodes de livraison d'un projet et des données techniques, principalement pour les projets publics. Le changement de méthodes de livraison peut néanmoins se heurter, en partie, à une résistance culturelle selon Jin et al. (2017). Un aspect digne de mention fait aussi référence à l'étude de Sahil (2016) sur les pays en développement. L'auteur explique que les participants de son étude croient que les barrières à l'adoption du BIM pourraient être associées à la culture et aux habitudes en fonction de la zone géographique. Par exemple, en Asie « *working in a transparent and collaborative environment inherent with the use of BIM is challenging for most of the people as it takes time to transition from old to new habits.* » (Sahil, 2016). Finalement, selon Mutai (2009), les principaux défis entourant la technologie du BIM sont liés à la culture et au processus standard établis dans les pratiques de l'industrie de la construction au fil du temps.

1.7.3.3 Responsabilité pénale ou juridique

Comme mentionné précédemment, il existe différents obstacles à l'implémentation du BIM en organisation. Néanmoins, ce projet portera une attention particulière aux enjeux de responsabilité face à la donnée numérique. La responsabilité peut être séparée en deux types. La responsabilité individuelle, expliquée précédemment et la responsabilité juridique ou pénale. Ce type de responsabilité se traduit par la responsabilité d'une partie. En cas de problème, le fautif doit être blâmé. Cette responsabilité devient un enjeu dans le contexte du BIM puisqu'il est très difficile de trouver *un coupable* dans un environnement collaboratif comme celui-ci. De plus, dans les projets de construction, les professionnels sont amenés à signer ou à apposer leur sceau sur un contenu. La signature et l'apposition du sceau sont donc des aspects importants qui seront abordés dans le cadre de nos entretiens. Selon la littérature,

la responsabilité professionnelle et juridique se traduit par l'apposition d'une signature et/ou d'un sceau pour garantir au « *public et à l'autorité compétente qu'elles peuvent se fier à ces documents et les utiliser avec confiance* » (OAQ, 2015). De plus, comme divers auteurs l'indiquent (Foster, 2008; Smith, 2014; Hui su, 2013), la responsabilité juridique n'est pas clairement définie dans les contrats et la législation actuelle. En effet, au Québec, la loi concernant le cadre juridique des technologies de l'information indique que « *La signature d'une personne apposée à un document technologique lui est opposable lorsqu'il s'agit d'un document dont l'intégrité est assurée et qu'au moment de la signature et depuis, le lien entre la signature et le document est maintenu* » (Publication Québec, 2019). Néanmoins, dans le contexte du BIM, une incertitude juridique demeure. En effet, le nombre élevé de participants dans un projet et sur la plateforme technologique signifie que ces participants peuvent avoir modifié ou influé le contenu numérique. Par ailleurs, il existe aussi des risques de distorsion entre les différentes plateformes utilisées (Sackey, 2014). Notre système juridique actuel au Québec est centré sur l'individu (unique). Par conséquent, il est difficile pour les parties prenantes d'avoir confiance et d'apposer leur signature sans crainte de représailles. Le défi est d'être en mesure de créer une nouvelle forme contractuelle qui tienne compte de la collaboration et qui attribue adéquatement les risques et les compensations entre les parties (Foster, 2008; Mutai, 2009; Faber & Wandahl, 2016; Lindblad, 2013; Azhar, 201; Thompson & Miner, 2006). À ce jour, plusieurs tentatives ont été entamées pour créer des contrats adéquats, mais aucun d'entre eux ne fait consensus à ce jour. Il y a une incertitude et un manque de clarté par rapport aux responsabilités juridiques (Foster, 2008).

Le contrat traditionnel est en mesure de séparer, de définir et d'attribuer clairement les responsabilités et les risques entre les parties. Néanmoins, adapter ce contrat au contexte complexe du BIM n'a pas été réalisé et semble être inconcevable (Foster, 2008). En effet, selon Foster (2008), dans les projets BIM, les risques doivent être répartis rationnellement en se basant sur les bénéfices qu'une partie recevra à intégrer la technologie, en tenant compte de la capacité de cette partie à contrôler le risque en question et à sa capacité d'absorber le risque via ses assurances. De plus, selon l'étude de Hui Su (2013), *Research on Construction Contract under BIM Conditions*, les contrats actuels manquent de contenu pour convenir au design

coopératif dans lequel toutes les parties prenantes sont impliquées. En effet, Alreshidi et al. (2017) expliquent qu'étant donné que les projets, dans l'industrie de la construction, sont traités dans un environnement de collaboration entre de multiples disciplines et acteurs, des questions de manque de confiance et de clarté sont soulevées en lien avec les responsabilités et l'interopérabilité. Selon Azhar (2011) le défi se pose par rapport à la responsabilité juridique associée à l'utilisation de la technologie. Effectivement, Ashcraft (2008) explique aussi que les préoccupations par rapport aux responsabilités juridiques ont mené les praticiens et les avocats à isoler contractuellement l'information contenue dans le modèle en perdant de ce fait même la possibilité de tirer le maximum du modèle.

Le second facteur juridique fait référence à l'absence de standard BIM pour les documents contractuels (Foster, 2008). En effet, l'absence de standard nuit au développement de l'approche en organisation étant donné le manque de pratiques formelles et de consensus autour de l'attribution des rôles et des risques associés. Comme Mutai (2009) l'explique, les préoccupations sur l'utilisation interdisciplinaire du modèle amène les équipes de travail et leurs avocats à éviter d'utiliser le BIM. En effet, il n'y a pas de protocoles établis à ce jour pour déterminer à qui appartient la responsabilité lorsqu'un problème surgit. De plus, Faber & Wandahl (2016), expliquent que l'utilisation du BIM amène de nouvelles demandes. Par exemple, le résultat final doit avoir été compris et partagé entre les différentes parties impliquées. Cependant, il y a actuellement des défis pour répondre à ce nouveau type d'exigence parce qu'il faut définir clairement les besoins d'information, la dépendance des parties à l'accessibilité de l'information et promouvoir un travail collaboratif productif. Eastman et al. (2011) expliquent aussi que différentes publications internationales ont pointé du doigt certains problèmes nécessitant une résolution, qui s'intègre aux différents systèmes juridiques. Selon Eastman et al. (2011), il serait impossible de copier une solution d'un pays à un autre. De plus, les enjeux concernant la responsabilité contractuelle pour les inexactitudes dans le modèle BIM sont aussi des enjeux qui doivent être résolus, selon Lindblad, (2013). Le changement en termes de production de documents impactera les frontières dans la répartition des rôles et des responsabilités. Arensman & Ozbek, (2012) expliquent que le fait de se référer au modèle BIM représente une difficulté pour différents acteurs puisqu'en recevant le modèle,

les firmes voudront s'y référer et se fier à l'information contenue à l'intérieur pour faire leur travail. D'un côté, leurs perceptions de la donnée dans le modèle est l'absence de défectuosité ou d'omission. D'un autre côté, la firme qui fournit le modèle souhaite limiter sa responsabilité lorsque le modèle n'est plus en sa possession (Arensman & Ozbek, 2012). Selon le rapport de l'avocat associé, Xavier Pican, présenté au Président du conseil supérieur de la construction et de l'efficacité énergétique et au président du plan transition numérique dans le bâtiment du Québec en 2016, il est vrai que certaines questions se posent lorsqu'une erreur surgit dans la base de données et que le responsable de l'erreur doit engager sa responsabilité civile. Néanmoins, selon Pican, « *il convient ainsi de déterminer s'il engagera [sa responsabilité] à titre individuel, au nom de son corps de métier ou de son supérieur hiérarchique. Il convient donc de régler contractuellement les responsabilités des différents acteurs et les accès à la maquette pour plus de sécurité dans la construction et pour réduire les coûts, notamment ceux liés à la souscription d'assurances.* » (Numérique & Pican, 2016). Finalement, la dernière problématique en ce qui a trait à la responsabilité juridique concerne les compensations financières du BIM, par rapport à la valeur ajoutée et aux coûts supplémentaires (Thompson & Miner, 2006).

1.8 Le Product Lifecycle Management (PLM)

Dans la prochaine section, il sera question d'expliquer de manière générale en quoi consiste la Product Life Cycle Management, communément appelée le PLM, afin d'établir sa pertinence par rapport au BIM. En effet, le PLM sera utilisée à titre d'outil de comparaison dans l'étude pour mieux comprendre si les enjeux relatifs au BIM pourraient être identiques à ceux du PLM et d'en comprendre les solutions.

1.8.1 Définition du PLM

Tout comme le BIM, le PLM (Gestion du cycle de vie des produits) peut être décrit comme « *the business activity of managing, in the most effective way, a company's products all the way across their lifecycles; from the very first idea for a product all the way through until it is retired and disposed of* » (Starck, 2015). En effet, Starck (2015) explique que le PLM s'applique à toute entreprise possédant un produit, de toute taille, allant des grandes entreprises, aux petites et aux moyennes. Un produit, par rapport au PLM, peut faire référence à un produit tangible et physique, à un service ou à un produit non physique et non tangible, par exemple

un logiciel (Saaksvuori & Immonen, 2008). Ce changement de paradigme a tranquillement fait son arrivée vers les années 1970 avec la naissance de Intel, Microsoft et Apple (Starck, 2015). Jusqu'à aujourd'hui, la rapidité de l'apparition de nouveaux produits a considérablement augmenté. Ces produits comprennent fréquemment des aspects technologiques ou électroniques. Selon Maletz, Eigner, & Zamazal (2009), il est communément accepté que le PLM soit un facteur clé pour rester compétitif dans les programmes de développement de produits. En effet, non seulement le PLM permet d'améliorer l'efficacité et de réduire les coûts, comme le BIM, mais elle apporte également des avantages liés à la gestion de toutes les données pertinentes d'un produit (Maletz et al., 2009). Avant l'arrivée du PLM, les besoins en termes de gestion de production pouvaient être comblés par le Engineering Data Management, puis par le Product Data Management qui a émergé au courant des années 1980 puisque les ingénieurs ressentaient le besoin d'effectuer le suivi des dessins en cours générés par CAO (Saaksvuori & Immonen, 2008). Cependant les bénéfices du PLM étaient beaucoup plus larges, étant donné qu'ils ne s'appuyaient pas seulement sur une implémentation technologique, mais aussi sur un changement de processus, de pratiques et de méthodes de travail à des fins de contrôle sur le cycle de vie d'un produit (Saaksvuori & Immonen, 2008). De plus, tout comme pour le BIM, Kung et al. (2015) expliquent que le PLM est amené à provoquer des perturbations à l'interne et à l'externe des organisations en raison de la nature des changements en lien avec le processus de développement.

1.8.2 Similitudes entre le BIM et le PLM

Comme expliqué dans la première partie de ce mémoire, plusieurs chercheurs ont pu faire le constat que le BIM et le PLM partagent plusieurs caractéristiques communes qui permettent, dans certains cas, d'utiliser ou de se baser sur des solutions PLM pour faciliter l'intégration ou l'utilisation du BIM. En effet, selon Reefman & Van Nederveen (2012), les caractéristiques communes du BIM et du PLM possèdent une propriété conjointe importante. Les deux sont la seule source d'information sur le projet, y compris la géométrie 3D et tous les autres renseignements sur les produits (Reefman & Van Nederveen, 2012). De plus, selon Jupp, J. R., & Singh, V. (2014), de nombreux chercheurs se sont intéressés à différentes questions en lien à la gestion de la configuration du PLM pour répondre à des questions en lien avec le BIM.

Effectivement, selon Aram & Eastman (2013), le PLM a servi de base pour les solutions collaboratives, la fabrication et la gestion du cycle de vie d'un produit, comme le BIM. Pour ces chercheurs, le BIM peut grandement profiter des solutions du PLM pour unifier, gérer et valoriser l'information au travers des projets interdisciplinaires (Aram & Eastman, 2013). En plus, comme l'expliquent Bouguesse, Forgues & Doré (2013), le PLM « *a mené des entreprises à réaliser les mêmes objectifs ciblés par le BIM [...]. Prévoyant l'amélioration de la productivité, la diminution de la durée du projet, la réduction des coûts et proportionnellement l'élimination du gaspillage. Le PLM [...] facilite la réalisation des maquettes virtuelles intelligentes grâce aux outils de la CAO* ». De plus, tout comme le BIM, le PLM vise l'intégration de différents logiciels interopérables en favorisant une structure collaborative et de partage d'information (Eastman et al., 2010). Jupp et Nepal (2014) expliquent à leur tour que les ressemblances entre le BIM et le PLM font référence à leur approche centrée sur le partage des données, la gestion de projet et l'organisation des équipes autour des livrables. De plus, les auteurs soulignent que les questions qui entourent les changements de l'ordre des pratiques professionnelles ou culturelles se répertorient autant dans l'implémentation du BIM que du PLM (Jupp & Népal, 2014).

1.8.3 Différences entre les industries de la construction et de l'aéronautique

La transition entre l'approche traditionnelle 2D de réalisation de projet en construction, à une nouvelle approche BIM, demeure extrêmement complexe dans le monde de la construction (Poirier, 2015). Effectivement, selon plusieurs études de cas, malgré l'envie d'entamer une révolution numérique dans le secteur du bâtiment, la reconfiguration de l'environnement collaboratif, les changements de processus, les changements relatifs aux rôles et responsabilités ainsi que la transformation des pratiques de l'industrie sont à l'origine de nombreux questionnements et obstacles à l'adoption du BIM (Poirier, 2015; Foster, 2008; Rosenberg, 2007; Thompson, 2006; Smith, 2014; Mutai, 2009). Comme l'expliquent Green et al. (2005), il est important de faire la distinction entre l'univers de la construction et celui de l'aéronautique. Selon ces auteurs, il existerait deux principales dimensions à ces différences : les différences structurelles et leurs relations vis-à-vis du gouvernement (Green et al., 2005). Effectivement, les recherches d'Howard et al. (1989) et de Boton, C., Rivest, L., Forgues, D., & Jupp, J. (2016) montrent que le secteur de la construction est généralement plus fragmenté

et localisé que le domaine de l'aéronautique. De plus, Howard et al. (1989) expliquent que la fragmentation existe autant entre les différentes phases de projet, qu'entre les différents spécialistes dans une phase de projet donnée. La fragmentation de l'environnement dans lequel le domaine de la construction opère s'inscrit à l'inverse de l'industrie de l'aéronautique. En effet, en aéronautique, l'environnement tend à devenir de plus en plus stable et consolidé (Boton et al., 2016). Cela engendre donc des défis en termes de productivité et de compétition en construction (Howard et al., 1989). Néanmoins, de nombreux chercheurs (Aram & Eastman, 2013; Boton et al., 2016; Den Otter et al., 2011) s'accordent pour affirmer que malgré les différences importantes dans les industries cibles du PLM et du BIM, ces outils restent comparables pour plusieurs raisons. Comme Numérique & Pican (2016) l'indique, les deux industries tentent par divers moyens de fabriquer/construire un produit à l'aide de ressources appropriées et de processus spécifiques dans un environnement précis, tout en tenant compte des différentes variables qui en dépendent ou non.

1.8.4 Enjeux de responsabilité face au PLM

Étant donné que notre recherche porte principalement sur les enjeux de responsabilité face au déploiement des outils et des processus liés à la maquette numérique et que la revue de littérature sur le PLM sert principalement de comparatif, la section qui suit mettra en évidence les enjeux liés aux rôles et aux responsabilités dans le processus d'adoption de l'approche PLM. Il est pertinent de mentionner que la littérature sur les enjeux de responsabilité dans le PLM semble moins vaste que celle sur le BIM. La littérature discute des défis relatifs à l'adoption du PLM tels que : la culture entourant le métier d'ingénieur de produit, le manque de processus d'ingénierie standard, la technologie en soi, l'accent démesuré qui est mis sur l'aspect monétaire, la complexité technique (Nambisan et al., 2010; Kao-HuiKung et al., 2015; Hewett, 2010; Maletz et al., 2009; Jupp, 2013), la réticence sociale, les coûts, la taille des entreprises, l'âge des employés (Messaadia et al., 2016), le processus de prise de décision centralisée (Kao-HuiKung et al., 2015), la structure de communication, la compétition entre les firmes (Littler et al., 1995; Messaadia et al., 2016), etc. Nous remarquons néanmoins que peu d'auteurs ont abordé la responsabilité à titre d'enjeu. Nous avons toutefois pu identifier

certains travaux décrivant les rôles et les responsabilités comme un enjeu possible à l'implémentation du PLM en organisation.

1.8.4.1 Partage des pouvoirs

Pour commencer, comme les travaux de Hewett (2010) l'expliquent, puisque les projets PLM rassemblent généralement un nombre considérable d'ingénieurs d'expérience autour d'un projet, des enjeux de leadership émergent. Ces enjeux concernent les rôles et les responsabilités puisque les ingénieurs ont de la difficulté à occuper un rôle inférieur à leurs habitudes (Hewett, 2010). Cela dit, cette difficulté est une entrave à la dynamique groupale et amène des enjeux décisionnels importants à connotations politiques (Hewett, 2010). Faire partie de l'équipe responsable de l'implémentation du PLM semble être une nuisance pour les ingénieurs qui n'envisagent pas ce changement comme étant difficile.

1.8.4.2 Culture collaborative

Pour continuer, Kao-HuiKung et al. (2015) affirment qu'il existerait un enjeu par rapport à l'échange d'information entre les différents départements qui alimentent la maquette numérique. Cet enjeu compliquerait l'interaction entre les parties prenantes. Selon ces auteurs, le défi serait culturel étant donné l'attitude négative des ingénieurs par rapport au maintien des connaissances. Ceux-ci seraient plutôt réfractaires à développer des solutions pour résoudre les problèmes du projet en l'absence de données techniques de tous les départements (Kao-HuiKung, et al., 2015). Tout comme ces auteurs, Littler, Leverick, & Bruce (1995) indiquent aussi que le développement de produits collaboratifs peut générer des enjeux comme des questionnements par rapport à la propriété intellectuelle contenue dans la maquette numérique et l'incertitude sur les moyens de mieux gérer la perte de contrôle de la propriété. Ainsi, pour gérer les situations de ce type, les auteurs s'entendent pour dire que l'établissement d'objectifs et la clarification des rôles et des responsabilités sont une avenue prometteuse (Littler et al., 1995). En effet, ceux-ci expliquent que la recherche d'un équilibre équitable des rôles et des responsabilités est une tâche très importante. Comme Ford et al. (2013) le soulignent, il est nécessaire d'éliminer les barrières qui nuisent à l'interopérabilité en définissant les responsabilités, l'autorité et l'incompatibilité avec certains types de structure organisationnelle.

Pour finir, les enjeux en termes de responsabilité face à l'implémentation du PLM ne semblent pas être aussi perturbateurs que ceux liés à l'implémentation du BIM dans les organisations, puisque la littérature à ce sujet est réduite. Cette recherche permettra de mettre en lumière et de clarifier cette hypothèse, d'en dégager les raisons et de comprendre comment les entreprises en aéronautique s'y prennent pour gérer ce type d'enjeu.

1.9 Positionnement de ce projet de recherche

Dans les paragraphes précédents, il a été possible d'affiner notre compréhension des enjeux d'implémentation et leurs différents facteurs, notamment les facteurs humain, technologique, culturel et juridique. Une attention particulière a aussi été portée sur les enjeux de responsabilité. Ces enjeux spécifiques à la responsabilité ont été scindés en deux catégories, les enjeux de responsabilité juridique/pénale et ceux liés à la responsabilité individuelle. Néanmoins, il est possible de faire le constat que ces types d'enjeux ne sont pas seulement liés au BIM, mais aussi à d'autres intégrations technologiques en organisation. Il a aussi été possible de noter que les auteurs fournissent de l'information globale sur les enjeux d'implémentation face au BIM, mais que très peu d'entre eux mettent l'accent précisément sur la responsabilité par rapport à la maquette 3D. Aucun auteur n'élabore sur la difficulté de signer la maquette 3D dans toute sa complexité. En effet, la difficulté d'appréhender pleinement le modèle 3D à des fins de signature n'est pas décrite de façon précise. De plus, la notion du passage du mode 2D vers le mode 3D n'a pas non plus été étudiée avec précision dans le cadre des enjeux de responsabilité. Il a été possible d'observer des enjeux de responsabilité par rapport au grand nombre de participants, c'est-à-dire un facteur ayant des effets potentiels sur le contenu numérique, par rapport à l'absence de standard BIM globalement accepté, par rapport aux risques de distorsion entre différentes plateformes BIM, par rapport à la culture de travail et par rapport à la distribution des rôles (coordination, contrôle des interférences, etc.).

Toutefois, aucun enjeu n'a été examiné en lien direct avec les différences entre le 2D et le 3D. Il n'a pas été possible d'identifier des travaux qui ciblent spécifiquement des enjeux de responsabilité en construction ni en aéronautique au Québec en termes de signature de documents numériques. Ainsi, cette lacune au sein de la littérature légitimise notre démarche et l'angle que nous ciblons.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

2.1 Introduction

Dans le cadre de tout projet de recherche, un chercheur est confronté à une énorme variété de choix méthodologiques pour bien capturer le phénomène étudié. Ce choix méthodologique s'inscrit dans le principe de "research design". On traduit ce principe par la notion de *conception d'un modèle de recherche* qui tiendra compte des variables et des caractéristiques à l'étude pour choisir la méthode de collecte de données et d'analyse (Creswell, 1996). Le but est de faire un choix stratégique en termes de méthodologie de recherche pour faire avancer les connaissances sur un sujet donné. En ce qui concerne cette recherche, la section qui suit indiquera clairement les raisons philosophiques, méthodologiques et analytiques des décisions prises à chacune des phases du projet. Cela étant dit, cette section décrira et justifiera précisément la méthodologie de recherche adoptée pour cette étude exploratoire.

2.2 Étude exploratoire

Selon Simard & Vonarx, (2006), peu importe la nature d'une recherche, elle doit avoir pour objectif la description, l'exploration, l'évaluation, l'explication ou la prédition d'un phénomène. L'objectif est d'identifier la catégorie la mieux susceptible de répondre à l'intention de la recherche. Selon Trudel, Simard & Vonarx (2006), là où les questions à l'étude peuvent nous aider à orienter notre choix de conception, à l'image du tableau sur les questions et les types de recherche.

Tableau 2.1 Questions et types de recherche
Tirée de Trudel, Simard & Vonarx (2006, p.42)

<i>Questions</i>	<i>Types de recherche</i>
Qu'est-ce que c'est?	Descriptif
Comment fonctionne le phénomène? Comment le phénomène se présente-t-il statistiquement ou dynamiquement? Comment se comporte-t-il?	Descriptif-explicatif
Pourquoi fonctionne le phénomène? Pourquoi le phénomène se présente-t-il ou se comporte-t-il ainsi?	Explicatif-diagnostic
Comment le phénomène se comportera-t-il?	Diagnostic-prédicatif
Quelle est la valeur, la portée du phénomène étudié?	Évaluatif
Comment circonscrire un objet de recherche, définir de nouvelles pistes de recherche, choisir des avenues théoriques ou identifier une méthode appropriée à l'objet?	Exploratoire

Ainsi, dans le cas de notre recherche, notre choix s'est arrêté sur l'étude exploratoire. En effet, l'étude exploratoire sert à explorer ou à documenter un phénomène en particulier (Liu et al., 2009). De manière générale, ce type de recherche vise à clarifier un phénomène qui n'a pas encore été ou qui a été plus ou moins défini. Ce type de recherche peut parfois servir à déterminer l'état des travaux et l'envergure de recherche adéquate avant de mener une étude (Trudel, Simard & Vonarx, 2006). Selon l'étude de Trudel, Simard & Vonarx (2006), « *la recherche exploratoire viserait alors à combler un vide [...]. Elle peut être aussi un préalable à des recherches qui, pour se déployer, s'appuient sur un minimum de connaissances. La recherche exploratoire permettrait ainsi de baliser une réalité à étudier ou de choisir les méthodes de collecte des données les plus appropriées pour documenter les aspects de cette réalité ou encore de sélectionner des informateurs ou des sources de données capables d'informer sur ces aspects* ». Dans le cas présent, l'étude exploratoire consiste à explorer les

enjeux de rôles et de responsabilités possibles face à l'implémentation du BIM en organisation. L'objectif sera de documenter les défis et les préoccupations potentiellement vécus par les utilisateurs d'une organisation précise. L'enquête exploratoire permettra d'améliorer notre compréhension du phénomène à titre informatif et pourrait servir de préambule à des études de cas subséquentes (Sackay, 2014). Cette étude a pour objectif d'explorer les réticences possibles qui touchent la responsabilité de l'utilisateur entourant la maquette 3D. Toutefois, le résultat de cette recherche ne permettra pas d'affirmer ou d'infirmer une hypothèse en lien avec l'existence d'enjeux de responsabilité, mais plutôt d'émettre différentes hypothèses en lien avec nos découvertes (Liu et al., 2009). L'objectif est de comprendre le phénomène à sa base, sans tenter d'établir une corrélation de cause à effet, mais d'avancer les connaissances sur un phénomène peu documenté. Par ailleurs, nous explorerons si les préoccupations particulières de l'organisation étudiée se retrouvent potentiellement dans d'autres entreprises qui utilisent le PLM.

2.3 Les raisons de la recherche exploratoire

Nous avons fait le choix de privilégier la recherche exploratoire en raison de l'absence d'information approfondie dans la littérature sur les préoccupations directement liées à la responsabilité chez notre partenaire. Nous chercherons donc à saisir et à comprendre les différentes perceptions des professionnels impliqués dans l'implémentation du BIM au sein de l'organisation partenaire dans le cadre de récits narratifs de parties prenantes et d'une analyse documentée. Nos données analysables seront les données subjectives telles que les avis, les perceptions, les sentiments et intérêts des parties prenantes dans l'implémentation du BIM, ainsi que les données par rapport aux différents processus, enjeux et défis d'implémentation. L'objectif spécifique à l'utilisation de la recherche exploratoire est de décrire en détail un phénomène qui n'a pas encore été décrit (collecte journalistique, collecte qualitative riche vue à travers les yeux des parties prenantes dans une organisation).

Nous serons donc amenés à récolter des opinions, des jugements, des expériences, des perceptions, des émotions et des exemples concrets provenant des utilisateurs de la maquette 3D qui ont vécu ou qui vivent avec le BIM au quotidien.

Les données qualitatives prendront les formes suivantes :

- retranscription d'entrevues sous forme de verbatims;
- notes de projet, de rencontres et d'entrevues;
- informations générales sur le contexte des organisations;
- informations générales sur les projets BIM.

Le choix de la méthode qualitative a pour objectif d'explorer et de documenter les préoccupations d'une organisation spécifique qui semblait vivre certains enjeux de responsabilité face à la maquette numérique en collectant les jugements, les avis, les perceptions et les comportements plutôt que des données chiffrables ou quantitatives. Il est donc possible d'affirmer qu'il s'agit bien d'une approche qualitative étant donné la présence d'un problème général, selon une perspective disciplinaire, soit l'industrie de la construction, et axé sur un domaine de préoccupations sociales (Ian Dey, 1999).

2.4 Collectes de données

2.4.1 Échantillonnage

Le choix de la population dans le cadre de cette étude est basé sur l'ensemble des sujets potentiellement concernés par le phénomène à l'étude dans le contexte d'une entreprise déterminée au préalable et ayant communiqué ses préoccupations quant à la notion de responsabilité face à la maquette 3D. Ainsi, dans cette recherche, la population observée constitue l'ensemble des parties prenantes touchées par l'implémentation d'un projet BIM au sein de l'entreprise partenaire. Afin de recueillir des données sur cette population, une partie de cette population a été sélectionnée à titre d'échantillon, dans l'entreprise. Les caractéristiques de l'entreprise présentaient les critères suivants : avoir implanté et utilisé le BIM dans ses pratiques et ses méthodes de travail, faire partie de l'industrie de la construction et être située au Québec. Par la suite, les individus choisis pour former l'échantillon ont été déterminés en fonction de certaines caractéristiques précises. En effet, nous désirions cibler les individus ayant de l'expérience de travail en lien avec le BIM, étant membres de l'Ordre des ingénieurs du Québec (OIQ), et/ou ayant été ou étant signataire de la maquette. Nous souhaitions aussi nous fonder sur des sources de données multiples, variées et crédibles. De

plus, l'échantillon devait aussi cibler différents professionnels appartenant à des disciplines diverses en construction. Pour y parvenir, nous avons demandé aux parties prenantes les plus susceptibles d'avoir de l'information, et une compréhension adéquate du phénomène, de proposer d'autres participants pour l'étude. Grâce à des discussions avec le conseiller responsable de la planification et de l'estimation de l'entreprise et le coordonnateur du groupe de recherche en intégration et en développement durable en environnement bâti (GRIDD), nous avons été en mesure d'identifier les principaux participants ayant différentes expertises dans le BIM et jouant différents rôles dans le projet et susceptibles de fournir une information riche et détaillée sur le sujet à l'étude. Au total, plus de vingt noms ont été retenus. En raison de la participation volontaire, nous avons obtenu l'approbation de sept participants. Comme mentionné précédemment, les expertises des participants de l'étude sont diverses. Cela crée un ensemble hétérogène et un échantillonnage crédible. En effet, nous avons aussi veillé à valider les caractéristiques requises avec les participants.

Tableau 2.2 Caractéristiques des participants à l'étude

Participants	Discipline	Expériences pertinentes
Participant 1	Systèmes d'information	Ingénieur et chargé d'équipe pour la conception, réfection.
Participant 2	Mécanique	Concepteur en mécanique lourde qui conçoit la maquette 3D en collaboration avec les autres disciplines.
Participant 3	Industriel et procédés	Développement des méthodes de travail de la maquette 3D avec CATIA. Géologie, hydraulique. Coordination et gestion des projets du volet CAO 3D pour les projets de réflexion. Coordination multidisciplinaire autour de la maquette. S'assure que la maquette est à jour durant les rencontres techniques et que les rencontres multidisciplinaires peuvent avoir lieu. Alimente aussi le 4D avec la planification et les méthodes de construction.
Participant 4	Civil	Chef de l'unité d'affaires et du système d'information de la division Innovation. Responsable de l'implémentation de la maquette 3D (consultant pour IBM). Implémentation de la maquette 3D dans le projet de la Romaine, gestionnaire, architecture fonctionnelle.
Participant 5	Mécanique et civil	A implanté CATIA dans la compagnie. A créé le modèle paramétré du début. A travaillé sur son évolution lors de différents projets d'envergure. A chapeauté le projet d'implémentation de la maquette et a instauré 3D VIA.
Participant 6	Systèmes d'information	Chargé d'équipe CAO 3D à l'unité du système d'information. Son équipe gère les maquettes CAO 3D. L'équipe produit toutes les méthodologies, tous les guides de travail, en leur capacité d'éditeurs. A intégré plusieurs logiciels de CAO 3D.

Participants	Discipline	Expériences pertinentes
Participant 7	Systèmes d'information	Ingénieur, gestionnaire de projet 3D.

Il est important de spécifier que la totalité des répondants sont ingénieurs de profession ou possèdent une formation d'ingénieur dans diverses disciplines et que trois participants sont amenés à signer/sceller eux-mêmes des maquettes 3D dans le cadre de leurs fonctions.

2.4.2 Entrevues semi-dirigées

Afin de collecter de la donnée sur le sujet, nous avons opté pour des entrevues semi-dirigées. L'utilisation de l'entrevue est une méthode recommandée pour des fins d'éclaircissement d'un phénomène. L'entrevue permet de revenir plusieurs fois sur un sujet en demandant des clarifications plus approfondies (Fortin, 1992). Fenneteau (2015) explique qu'il existe trois principaux types d'entretiens : les entretiens directifs, non directifs et semi-directifs. Nous avons choisi la formule mixte « *qui combine à la fois directivité et non-directivité. Dans les entretiens semi-directifs, l'intervieweur oriente la personne qui parle vers certains sujets et lui laisse ensuite toute la liberté pour s'exprimer* » (Fenneteau, 2015). Tout comme Schuler & Jackson, (1987) l'indique, « *il faut donc laisser la personne suivre sa pensée même si l'entrevue s'allonge; il sera toujours possible de la ramener au sujet. D'ailleurs, on peut obtenir des faits dont on ne soupçonnait pas l'existence* ». De plus, comme le BIM est un phénomène relativement émergeant, des entrevues ouvertes auraient pu produire une grande quantité de données, pas nécessairement pertinentes ou au potentiel réduit pour la compréhension des enjeux de rôles et de responsabilité face à la donnée numérique dans le contexte du BIM. Les entrevues ont été séparées en plusieurs phases. Les deux premiers participants à cette étude ont d'abord été sollicités suivant une première rencontre à des fins de démonstration et d'explication de l'utilisation du modèle 3D et de la donnée numérique dans le cadre d'une réunion formelle et planifiée avec notre personne-ressource dans l'entreprise. Les participants ont été informés que leur participation était volontaire. Nous leur avons présenté les objectifs poursuivis par notre recherche. Avec leur accord, nous leur avons demandé de nous fournir une liste de participants susceptibles de nous aider. Au moyen de

cette liste, nous avons sollicité (sous forme de première communication par courriel et/ou téléphonique) les autres participants (*Voir Annexe V*). Avant de réaliser les entrevues avec les participants suggérés, nous avons réalisé une première phase (1) préliminaire avec les deux premiers participants. À travers celle-ci, nous avons réalisé deux entrevues d'environ soixante minutes pour tester notre questionnaire. L'objectif de cette phase (1) était de valider notre vocabulaire, le contenu, la durée, la nature des réponses et notre approche. Après ces entrevues, nous avons modifié certaines de nos questions pour mieux cibler le phénomène, mieux adapter notre vocabulaire au milieu et au contexte de l'entreprise partenaire et réduire le nombre de questions pour respecter l'horaire. La deuxième phase d'entrevues (2) a été la plus significative. Nous avons réalisé cinq nouvelles entrevues, avec le questionnaire modifié, d'une durée de quarante-cinq à quatre-vingts minutes (*Voir Annexe II*). Pour être en mesure d'analyser la donnée, chacune des entrevues a été enregistrée et transcrrite. Au total, suite aux deux phases, sept verbatims entre dix-huit et vingt-cinq pages ont été produits. Après avoir analysé les données de la deuxième phase (2), nous avons été interpellés par un phénomène qui semblait se dégager. Pour parfaire notre compréhension, nous avons donc décidé de réaliser une troisième phase (3) d'entrevues (*Voir Annexe III*). Cette troisième phase (3) a été plus brève que la précédente et contenait seulement trois questions (par rapport à onze questions à la première et deuxième phase (1-2)). À la suite de ces entrevues, le même principe de transcription et d'analyse a été réalisé. Finalement, la dernière phase d'entrevues était différente des trois précédentes. En effet, à la dernière phase (4), nous avons utilisé une nouvelle approche apparentée davantage à une conversation qu'à un questionnaire. L'adoption d'une approche moins formelle pour la dernière phase (4) avait pour but de présenter les données synthétisées à des parties externes à l'entreprise étudiée ayant travaillé avec des outils similaires pour en identifier les similitudes et les différences.

2.5 Considérations éthiques

2.5.1 Consentement libre et éclairé

Dans le corps du courriel, nous avons spécifié le contexte dans lequel nous avons été mis en relation, nous avons résumé la problématique et les objectifs poursuivis par notre recherche, et nous avons précisé que la participation devait être libre et éclairée de leur part et nous avons

mentionné les délais approximatifs de l’entretien (*Voir Annexe IV*). Les répondants intéressés ont ensuite été conviés à une rencontre, selon leurs disponibilités et leurs préférences. En plus, ces derniers ont été invités à prendre connaissance d’un document comprenant la présentation sommaire du projet de recherche, les visées de l’entretien, ainsi que le questionnaire d’entrevue au début de la rencontre. Nous avons aussi offert aux participants de répondre à leurs questions avant de débuter l’entretien. Nous avons expliqué les avantages et les inconvénients possibles en lien avec leur participation.

2.5.2 Confidentialité

Avant la réalisation des entretiens, l’ensemble des membres de l’équipe de recherche ont dû signer une entente de confidentialité. Lors des entretiens avec les répondants, l’étudiante chercheuse a spécifié que l’entretien était anonyme et confidentiel, et que les répondants étaient libres à tout moment de ne pas répondre à une question ou de quitter la salle. L’étudiante leur a demandé leur approbation pour enregistrer l’entretien et a demandé de signer le document de confidentialité. Afin de garantir la confidentialité et l’anonymat du projet, l’ensemble des répondants ont eu le choix de participer ou non à la recherche sur une base volontaire. Ainsi, il n’est pas possible d’identifier les répondants qui ont ou n’ont pas répondu aux questions posées lors des entrevues. De plus, les données nominales susceptibles de les identifier ont été codifiées. L’accès aux données sera restreint à l’étudiante, à son directeur et à ses codirecteurs. Les données sont conservées en lieu sûr grâce à un mécanisme de cryptage et à un mot de passe. Par ailleurs, un certificat d’approbation du Comité Institutionnel d’Éthique de la Recherche de l’ÉTS a été émis au préalable pour mener cette étude (*Voir Annexe VII*).

2.6 Analyse de données

Afin de réaliser une analyse des données obtenues, les entretiens enregistrés ont tous été transcrits pour générer des verbatims. Par la suite, nous avons réalisé une analyse des données qualitatives.

2.6.1 Analyse thématique

Pour ce faire, nous avons opté pour l'analyse thématique de données. En effet, comme Braun, & Clarke (2006) l'expriment, l'analyse thématique est différente des autres types de méthodes d'analyse puisqu'elle tente de décrire des modèles, des "*patterns*" en se référant à la donnée qualitative recueillie. Cela étant dit, l'analyse cherche à mettre en lumière un phénomène plausible basé sur de la donnée à des fins utiles (Braun & Clarke, 2006). Ainsi dans notre recherche, nous tentions de mettre en lumière les enjeux potentiels de responsabilité face à la donnée numérique au cours de l'implémentation du BIM, et d'en améliorer notre compréhension. De plus, en utilisant ce type d'analyse, nous cherchions aussi à dégager les idées sous-jacentes du discours des répondants, au besoin, pour clarifier et mieux comprendre le phénomène à l'étude. Pour ce faire, nous avons opté pour une démarche déductive en partant des types d'enjeux de responsabilité décrits par la littérature pour les appliquer aux observations, dans ce cas, aux paroles des répondants.

2.6.2 Codage déductif /inductif

La déduction désigne « *la démarche par laquelle l'esprit part d'une idée dont il cherchera ensuite à vérifier la véracité* » (Fortin, 1992). En adoptant cette démarche, le but était de catégoriser les différents types d'enjeux de responsabilité en se référant à la revue de littérature réalisée précédemment. Ainsi, une catégorisation de ces enjeux a été réalisée pour permettre de coder la donnée selon la catégorie appropriée. Fortin (1992) explique qu'il « *est parfois difficile de placer toutes les données dans des catégories exclusives* » (Fortin, 1992). « *Idéalement, aucune donnée ne peut appartenir à deux catégories différentes [...] chaque catégorie doit regrouper toutes les données observables [...] et les catégories doivent être intelligibles à plusieurs chercheurs. En utilisant le processus de codage déductif, cela nous a permis de reconnaître les séquences qui semblaient importantes dans le discours des participants, de les coder et de les interpréter dans un second temps* » (Boyatzis, 1998). La recherche déductive a alors été choisie pour vérifier si les faits décrits dans la littérature pouvaient être observés dans le contexte de la recherche (Fortin, 1992). Néanmoins, suivant la lecture et l'analyse des verbatims, plusieurs citations intéressantes ne s'appliquant pas aux catégories relatives à la littérature semblaient en lien avec le phénomène à l'étude. Nous avons

donc décidé de réaliser une analyse inductive supplémentaire dans le but de faire émerger des catégories favorisant la production de nouvelles connaissances. Le processus d'analyse inductive est un « *processus de réduction des données en décrivant un ensemble de procédures visant à donner un sens à un corpus de données brutes, mais complexes* » (Blais & Martineau, 2006). Afin d'être en mesure de donner un sens à l'information recueillie, nous avons tenté de comprendre et d'interpréter le sens des avis et des explications du participant (Blais & Martineau, 2006). Par la suite, nous avons été en mesure de regrouper les citations par catégories. À la suite du codage, il a été possible d'identifier différents aspects non prémedités et intéressants dans le cadre de notre recherche susceptible de servir de piste pour d'autres recherches subséquentes. Tout comme l'explique Boyatzis (1998), le codage nous a permis de capturer la richesse de la donnée qualitative par rapport au phénomène.

Suivant l'analyse de la première et la deuxième phase d'entrevues (1-2), nous avons relevé un inconfort susceptible d'avoir un lien avec la notion d'apprehender l'entièreté du modèle 3D. En s'informant davantage sur le phénomène, il s'est avéré qu'une infime partie de la littérature abordait cet aspect, mais dans aucun cas la notion de responsabilité ne s'y rattachait. Cela dit, pour explorer cette idée, nous avons mené une troisième phase d'entrevues (3). L'objectif était d'approfondir la notion *de capacité d'apprehender l'entièreté du contenu*. Après cette collecte de données, nous avons favorisé l'analyse de données qualitative décrite ci-haut : le codage inductif. L'analyse a été réalisée en prenant soin, tout comme dans l'analyse antérieure, de lire à plusieurs reprises les données brutes récoltées et de les interpréter. Par la suite, nous avons été en mesure d'associer plus de sept *étiquettes* pour identifier les catégories (Thomas, 2006).

2.6.3 Rigueur de l'analyse

Afin d'assurer la rigueur scientifique de l'analyse qualitative choisie, nous avons opté pour le codage parallèle. En effet, dans un premier temps, nous avons procédé à une analyse des données et avons développé un ensemble de catégories que Blais & Martineau (2006) nomment les *résultats préliminaires*. Par la suite, un second chercheur (l'un des co-directeurs de recherche) a été appelé à valider l'interprétation et le sens attribué aux données brutes. Par la suite, une comparaison des interprétations initiales et des interprétations secondaires a eu lieu. Ainsi, ces deux ensembles d'interprétations et de catégorisations ont pu être combinés et

réorganisés pour chacune des phases d'entrevues. De plus, dans le but de favoriser une transparence complète des interprétations réalisées par l'équipe de chercheur, l'analyse des résultats sera accompagnée de citations pour chacun des constats. Cette méthode permettra au lecteur d'avoir une meilleure compréhension des raisons derrière les interprétations proposées et de conserver un point de vue critique sur les éléments abordés.

2.7 Conception des questionnaires

L'élaboration d'un questionnaire de recherche s'avère être une étape déterminante pour mener une recherche. Avant toute création de questionnaires, il est nécessaire de le préparer et de passer par différentes étapes de contrôle et de validation (Major, C. H., Savin-Baden, M., & Savin-Baden, M., 2013).

2.7.1 Élaboration du questionnaire

Ainsi, afin de parvenir à l'élaboration des questionnaires, nous avons débuté par une validation du vocabulaire à utiliser pour décrire le BIM dans le cadre de l'entreprise étudiée afin de garantir une compréhension uniforme par les participants à l'étude (*Voir Annexe I*). Pour ce faire, nous avons demandé aux participants à l'étude accompagnés de notre personne-ressource directe de l'entreprise de répondre à un cours questionnaire pour nous orienter sur le vocabulaire à promouvoir. Ce questionnaire nous a permis d'élaborer des questions en tenant compte des termes utilisés dans le cadre de l'organisation pour discuter du phénomène à l'étude. Les résultats des différentes questions sont présentés au Tableau 2.3.

Tableau 2.3 Résultats du questionnaire de validation du vocabulaire

Questions	Réponses
De manière générale, pouvez-vous nous expliquer votre compréhension de notre projet de recherche?	<p>P1 : Vous essayez de comprendre la différence entre le BIM et le PLM. Vous voulez connaître les problèmes qu'il y a eu en intégrant le PLM pour voir si ça pourrait aider à intégrer le BIM.</p> <p>Intervieweur : Reformulation de l'objectif en d'autres mots pour comprendre bien l'accent mis sur les enjeux de responsabilité et l'implémentation de la donnée numérique.</p>
Selon votre compréhension de notre projet de recherche, quel vocabulaire (terme) devrait-on utiliser dans le contexte actuel afin de recueillir le plus d'information par rapport à l'implémentation de la donnée numérique et s'assurer d'une compréhension de tous? (Utiliser le terme BIM, PLM, données numériques ou modélisation 3D, etc.) Pourquoi? Pourriez-vous définir le terme choisi.	<p>P1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> • CAO 3D • Maquette numérique 3D • On a plus des maquettes numériques <p>Si on parle de la maquette 3D tout le monde va comprendre. Souvent ce qu'on nomme dans les documents contractuels.</p> <p>P2 : Si je peux me permettre, la maquette numérique, CAO 3D, permet peut-être autant d'aller capter l'aspect juridique, processus et recommandation.</p>
Ce vocabulaire est-il fréquemment utilisé dans l'entreprise pour discuter de la donnée numérique?	<p>P1 : Oui modélisation 3D, maquette 3D, CAO 3D, mais, peut-être que si on a certaines questions reliées au BIM en tant que telle, pour mettre tout le monde sur le même pied d'égalité il faudrait expliquer qu'est-ce que c'est le BIM.</p>

Questions	Réponses
Selon vous, si on utilise ce vocabulaire dans les questions des futurs entretiens avec différents membres de votre entreprise, auraient-ils toute la même compréhension du vocabulaire choisi? Sinon, pourquoi ? Quel vocabulaire pourrait-on utiliser selon vous pour garantir une compréhension globale?	P1 : Bien oui, si on utilise modélisation 3D, CAO 3D et maquette 3D, mais si on parle juste du BIM, il faudrait vraiment communiquer une définition du BIM avant, pour que tout le monde comprenne.

Pour donner suite à cet entretien, nous avons compilé l'information pour être en mesure de prendre une décision par rapport au vocabulaire à utiliser. Ainsi, il fut possible de converger vers des termes plus généraux comme la CAO 3D, la maquette 3D ou encore la maquette numérique. En effet, nous avons décidé de choisir ces termes en particulier puisque l'utilisation des termes BIM ou PLM demandait une définition de la part des chercheurs. Néanmoins, cette définition aurait pu nous empêcher de faire un comparatif avec d'autres organisations qui n'attribueraient pas la même définition. De plus, étant donné que la recherche tente d'explorer les différentes perspectives sur le phénomène, l'utilisation des termes courants, mentionnés par le répondant étaient en lien avec l'objectif.

2.7.2 Types de questions

Les questions utilisées dans le cadre des entrevues semi-dirigées devaient répondre à certains principes généraux. En effet, les questions devaient être comprises par tous les répondants, en utilisant un vocabulaire adéquat. Les répondants devaient être capables de donner une réponse (pertinence) à la question posée et les répondants devaient être en mesure de fournir une réponse authentique (neutralité) (Paquet, 2016). Pour ce faire, nous avons tenté de nous mettre dans la peau du répondant durant l'élaboration du questionnaire préliminaire. Les questions étaient les plus courtes possibles et ciblaient aussi une seule dimension à la fois, pour être en

mesure de collecter l'information adéquate en lien avec la dimension. Effectivement, selon Paquet (2016), plus la question est longue, plus il y a de risques qu'elle soit mal interprétée. De plus, le vocabulaire utilisé était volontairement neutre pour ne pas biaiser la pensée du répondant.

2.7.3 Climat des entrevues

Afin de garantir un climat adéquat pour réaliser les entrevues et garantir la qualité des réponses, il existe différentes règles pour les mener : « *l'acceptation inconditionnelle de ce que dit la personne; si le chercheur considère qu'il est important de rencontrer telle ou telle personne et que celle-ci prend le temps de répondre à ses questions, il vaut la peine d'écouter ce qu'elle a à dire. Il n'y a pas de vrai ni de faux au départ, mais seulement un chercheur qui essaie de comprendre. La courtoisie et l'intérêt sincère du chercheur pour ce que la personne interrogée exprime donnera à celle-ci un sentiment de satisfaction et augmentera son plaisir à parler, spécialement si elle a l'impression de donner des renseignements importants et si elle n'est pas trop occupée*Ce genre de questions ne prête pas à controverse, n'exige pas d'interprétation et peut se traduire par de simples descriptions

2.7.4 Format des questionnaires

Cette recherche contient plusieurs questionnaires pour différentes phases. Le premier guide d'entretien avait pour objectif de valider le vocabulaire à utiliser pour la rédaction de nos questions d'entrevue. Ce guide était divisé en deux parties. La première visait à expliquer la problématique et le phénomène à l'étude afin de permettre au participant de saisir le contexte et de répondre aux éventuelles incompréhensions par rapport au sujet. La seconde partie avait pour but d'identifier le vocabulaire approprié pour discuter avec les membres de l'organisation ciblés et pouvoir se faire comprendre par tous les participants de manière uniforme.

Le second guide d'entretien se rapporte à la phase préliminaire. Le guide était divisé en huit sections :

- 1- L'introduction et le consentement
- 2- L'identification du répondant
- 3- La mise en contexte
- 4- Les enjeux d'implémentation généraux
- 5- Les enjeux de responsabilité
- 6- Le lien entre les enjeux de responsabilité/collaboration
- 7- Avis pour les prochains entretiens
- 8- Autres/Commentaires généraux

Les premières questions du questionnaire étaient plus générales pour introduire le sujet et laisser le participant mener la discussion et le mettre à l'aise. Les questions de la troisième section permettaient de dresser le portrait global de l'entreprise et de l'environnement dans lequel le BIM est utilisé pour accroître l'appréciation de la situation explorée. Dans la section des enjeux généraux d'implémentation, la question permettait d'entrer dans le sujet doucement. De plus, celle-ci restait générale afin de laisser l'occasion au répondant d'y ajouter son opinion. Elle tentait aussi de situer où se trouve l'entreprise dans le processus d'implémentation (début, milieu, fin). Dans la section des enjeux de responsabilité, les questions touchaient le vif du sujet : les enjeux de responsabilité face à la donnée numérique. Celles-ci sont placées à la moitié du questionnaire parce que nous voulions d'abord créer un climat de confiance favorable à l'ouverture du répondant (Fortin, 1992). La section concernant le lien entre les

enjeux de responsabilité/collaboration était située après les questions générales afin de discuter du lien possible advenant le fait que le participant n'ait pas abordé de lien potentiel. La septième section servait à identifier les parties prenantes les plus susceptibles de nous fournir de l'information pertinente sur le sujet. L'utilisation de cette stratégie participative va dans le même sens que notre collecte d'information puisque les parties prenantes sont considérées positivement afin de nous permettre de recueillir suffisamment d'information pour comprendre le phénomène. Finalement, la dernière section permet d'offrir l'occasion au participant de discuter d'autres éléments susceptibles d'être pertinents.

Pour donner suite aux entretiens préliminaires, plusieurs modifications ont été apportées au questionnaire pour la deuxième phase d'entretiens. En effet, lors des premiers entretiens, nous avons identifié le besoin de diriger plus rapidement notre questionnaire sur les enjeux de responsabilité plutôt que sur les enjeux d'implémentation globaux étant donné la durée de l'entretien et la disponibilité des répondants. De plus, afin de faire la distinction entre les différents types de responsabilités dans un projet BIM, le questionnaire a été divisé selon les deux types d'enjeux de responsabilité : la responsabilité individuelle et la responsabilité juridique. Il était aussi pertinent d'ajouter une description de ces enjeux afin de permettre aux participants d'en avoir une compréhension uniforme.

Après la première et la deuxième phase (1-2) d'entretiens et suivant le codage et l'analyse des données, nous avons pris la décision de réaliser une troisième phase d'entretiens pour approfondir un élément d'intérêt soulevé par les répondants. Cet aspect concerne la complexité d'un modèle 3D. L'analyse des entretiens nous permettait de croire qu'un inconfort lié à la difficulté supplémentaire d'appréhender l'entièreté du contenu (les vues, les orientations, les attributs, l'information visible et non visible contenue dans le modèle) pourrait nuire à l'utilisation et à l'implémentation de la donnée numérique. Pour approfondir cette hypothèse, nous avons planifié une troisième phase (3) d'entrevues avec les mêmes participants qu'à la deuxième phase (2). L'objectif était d'approfondir la notion de capacité de difficulté supplémentaire à appréhender l'entièreté du contenu.

Le guide d'entretien pour la troisième phase (3) était composé de trois questions et la durée était de vingt-cinq à trente-cinq minutes. Le formulaire débutait par une mise en contexte et une redéfinition des deux types de responsabilités pour replonger le participant dans le sujet. Par la suite, le questionnaire était divisé en trois parties : 1- L'introduction et le consentement, 2- L'identification du répondant, 3- Les enjeux de complexité.

Au fil des différents entretiens, les types de questions étaient ouvertes et fermées. L'utilisation des questions fermées permettait de connaître l'opinion du participant, mais une question ouverte suivait indéniablement les questions fermées pour offrir l'occasion au participant de s'expliquer et d'amener des exemples pour soutenir ses propos (Major et al., 2013).

2.8 Validation du questionnaire

Afin de valider le questionnaire pour obtenir les résultats escomptés, nous avons prévu trois étapes. La première étape était 1- la phase préliminaire 2- la validation par expérimentation 3- l'élaboration de la version finale du questionnaire.

Lors de la première phase, nous avons élaboré un questionnaire en fonction des objectifs de recherche poursuivis dans le cadre du projet général ainsi que des différents concepts à explorer, soulevés dans la revue de littérature. Étant donné le type de recherche exploratoire, il est important d'expliquer qu'aucune question ni sous-question ne devaient être rédigées en tenant pour acquis qu'il existait des enjeux de responsabilité dans l'entreprise ou que le participant vivait ce type d'enjeu. Le but était de permettre aux parties prenantes de parler sans entretenir de présuppositions. De plus, étant donné notre orientation vers le type d'entretien semi-dirigé, le fait d'identifier les questions ouvertes pertinentes et les questions d'approfondissement nous a permis d'orienter nos discussions lors des entrevues pour obtenir le maximum de données désirées par rapport au phénomène à l'étude. En plus, le fait d'avoir validé le vocabulaire et les concepts au préalable nous a permis d'assurer la compréhension de tous les participants. Nous avons aussi pris soin d'inclure une question ouverte à la fin de l'entretien pour récolter les commentaires de participants et les améliorations possibles à effectuer sur le questionnaire initial. Pour donner suite à l'élaboration du questionnaire, la

première version a été soumise aux différents membres de l'équipe de recherche interne qui ont procédé à sa validation et ont effectué une révision de l'ordre, de la formulation et de la nature des questions. Ainsi, trois versions différentes du questionnaire ont été proposées avant de s'entendre sur la version finale.

Suite à l'élaboration du questionnaire, nous avons procédé à la validation par expérimentation (Anadòn & Guillemette, 2006). Cette étape consistait à conduire deux entrevues individuelles avec les premiers participants suggérés par notre personne-ressource de l'organisation. Après ces entrevues, nous avons procédé à une analyse et à l'interprétation des données. Après coup, nous avons passé en revue le questionnaire selon les résultats et les données récoltées. Il est à noter que le chevauchement entre la collecte et l'analyse de données a été très important lors de cette recherche. Ainsi, comme le précise Anadòn & Guillemette (2006), « *cette stratégie liée aux visées de la recherche encourage une interaction circulaire entre la collecte et l'analyse des données.* » Puisque nous souhaitions valider un questionnaire, des ajustements ont été apportés en cours de route aux questions se retrouvant dans le questionnaire (Marchand, 2011). Nous avons donc réalisé quatre autres versions, tout en les faisant approuver et valider à l'interne par les membres de l'équipe de recherche pour s'entendre sur la version finale. Par la suite, nous avons été en mesure de conduire nos cinq autres entrevues avec les participants identifiés lors de nos deux premiers entretiens.

2.9 Forces et limites de la démarche

D'abord, puisqu'il s'agit d'une étude qui s'inscrit dans un projet de recherche exploratoire, cela favorise un processus de découverte, d'ouverture et de sensibilité par rapport aux données qualitatives récoltées. Néanmoins, dans cette recherche de type exploratoire, ce qui a été relevé au fil des discussions avec les participants représente ce que nous avons considéré être le plus pertinent. Il se pourrait alors que nous ayons fait des omissions étant donné notre perception biaisée par notre connaissance et nos compétences sur le phénomène. Cependant, il est à noter que la validation interne était réalisée par deux experts en BIM et en PLM. De ce fait, cela confère davantage de crédibilité à notre démarche.

Pour continuer, la composition de l'échantillonnage présente plusieurs forces. Effectivement, le fait de disposer d'un échantillonnage hétérogène, grâce à la multidisciplinarité des répondants, nous a permis de tester la démarche auprès de praticiens issus de différentes spécialités en ingénierie. La diversité des participants a généré de l'information issue de pratiques diversifiées et a donné l'occasion d'obtenir une vision plus globale et moins spécifique sur le sujet. Bien qu'elle comporte des avantages, la composition de l'échantillonnage comprend également certaines limites. En effet, malgré le fait que le nombre de participants soit acceptable pour une étude visant l'identification d'enjeux dans un certain milieu, cela limite la diversité de représentation et d'opinions. L'échantillonnage ne couvre pas en totalité l'ensemble des domaines. Il n'est donc pas possible de tirer une généralisation des résultats. La méthode de collecte de données est aussi une force de la recherche. En effet, le fait d'utiliser la méthode d'entrevue semi-dirigée permet d'accorder un haut degré de latitude à l'intervieweur. Cela nous a permis d'effectuer les ajustements nécessaires en cours d'entrevue pour favoriser l'approfondissement des opinions et des perceptions des participants. Nous avons alors pu éclaircir certains points abordés et approfondir leur processus de formulation de jugement.

Le choix de la méthode d'analyse est aussi un élément avec des forces et des limites. En effet, l'analyse inductive permet de traiter des données qualitatives, en les interprétant sous forme de catégories, et en leur conférant un sens. L'utilisation de cette méthode a ainsi permis de faire émerger certains concepts qui n'appartenaient pas au cadre référentiel. Néanmoins, dans ce type d'analyse, le chercheur ne peut pas faire complètement abstraction de ses préjugés et de l'angle sous lequel il appréhende le phénomène (Anadón & Guillemette, 2007). Nous considérons donc que cette recherche nous permet au moins de faire ressortir certains éléments qui nous ont semblés intéressants sur le sujet, sans pour autant assumer que l'ensemble des éléments intéressants expliqués par les participants sur le sujet ont pu sans l'ombre d'un doute être extraits et analysés de manière optimale dans notre recherche. La transcription des données audio en verbatims ainsi que l'identification de citations correspondantes à notre analyse nous permettent toutefois d'appuyer notre perception sur des données brutes. Cela confère une rigueur scientifique et une transparence à la démarche mise de l'avant.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS DE LA RECHERCHE EXPLORATOIRE

3.1 Introduction

Dans les chapitres précédents, la méthodologie de recherche incluant les données récoltées et les aspects spécifiques de l'analyse ont été présentés. Dans cette partie, les résultats de la recherche seront maintenant présentés. Elle sera séparée en deux sections distinctes. Nous exposerons les résultats liés à la première et la deuxième phase (1-2) d'entrevues sur les enjeux de responsabilité face à l'implémentation de la maquette 3D dans le contexte de l'organisation choisie, puis ceux obtenus lors de la troisième phase d'entretiens en lien avec la difficulté d'appréhender l'entièreté du contenu d'une maquette 3D. Afin d'assurer la qualité de l'information générée, les composantes de la démarche analytique seront soutenues par des données qualitatives. En parallèle, nous vérifierons l'atteinte des objectifs spécifiques et généraux poursuivis dans le cadre de cette étude. Dans chacune des deux parties, il sera alors question de restituer les résultats des deux expériences.

3.2 Résultats de la première et deuxième phases d'entrevues

Comme mentionné dans le chapitre précédent, nous avons suivi les principes de l'analyse déductive et inductive. Cela dit, le résultat de ces types d'analyse est le développement de catégories dans un cadre qui résume les données brutes et qui permet la transmission des principaux thèmes (Thomas, 2006). Ainsi, pour être en mesure d'établir un cadre selon la méthode déductive, nous nous sommes basés sur la littérature par rapport aux différents types d'enjeux en lien avec la responsabilité dans l'industrie de la construction. Pour y arriver, il a été possible de relever différentes classifications réalisées au préalable par différents auteurs. La première a été celle de Mutai (2009) sur les *Factors influencing the use of BIM within leading construction firms in the United States of America*.

Les facteurs retrouvés dans le tableau 3.1 font référence à une revue de littérature complète sur les enjeux d'implémentation. La seconde classification sur laquelle nous nous sommes basés est celle d'Alreshidi et al. (2017) sur les facteurs impactant l'utilisation efficace du BIM. Les classifications suivantes sont celles de Eastman et al. (2011) sur les barrières d'adoption du BIM puis, de Sackey (2014) sur les contraintes et préoccupations associées à l'implémentation du BIM. De plus, nous avons aussi basé notre réflexion par rapport aux catégories d'enjeux selon les différents articles discutant de la responsabilité par rapport au BIM décrite dans la revue de littérature. Ainsi, il a été possible de retenir les enjeux en lien à la responsabilité afin de créer un cadre de référence pour l'analyse déductive des résultats.

Tableau 3.1 Classification des types d'enjeux de responsabilité

Types de responsabilités	Enjeux
Responsabilités pénales/juridiques (liability)	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de contrat consensuel • Risques imprécis entre les différentes parties prenantes dans le projet • Les lois en construction ne sont pas en mesure de se tenir à jour avec les nouvelles avancées technologiques • Difficulté de standardiser l'utilisation dans les pays • Attribution du blâme en cas d'erreur n'est pas claire • Désir de maintien de la responsabilité traditionnelle
Responsabilité professionnelle	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté d'attribution des rôles et des tâches à accomplir (coordination, fiabilité du modèle, mise à jour) • Difficulté à identifier les frontières et les limites de la responsabilité des parties prenantes.

Étant donné ce qui précède, nous avons choisi de réaliser les sept entrevues et la transcription des données brutes de la première et deuxième phase sous forme de verbatims. Ensuite, il a été

possible d'identifier différents aspects en lien avec les enjeux de responsabilité reliés à la revue de littérature. Nous avons dégagé les premières catégories avec l'analyse déductive et inductive décrite dans le chapitre précédent. Cette étape a été effectuée sur un support électronique afin de faciliter le partage de l'information entre les différents chercheurs et permettre de garder en mémoire le travail d'analyse réalisé. Ainsi, après l'analyse de la première et deuxième phase d'entrevues (1-2) en lien avec les enjeux de responsabilité, voici les catégorisations des enjeux qui en sont ressorties.

Tableau 3.2 Catégorisation des enjeux de la première et deuxième phase d'entrevue

Catégories	Enjeux (codages déductifs)	Enjeux (codages inductifs)
Responsabilités pénales/juridiques (liability)	<ul style="list-style-type: none"> • Lois au Québec • Identification du responsable • Distribution des risques 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté supplémentaire d'appréhender l'entièreté du contenu passant du 2D vers le 3D • Différences entre les disciplines • Signature de la maquette numérique
Responsabilité professionnelle	<ul style="list-style-type: none"> • Distribution des rôles et responsabilités ambiguë 	<ul style="list-style-type: none"> • Confiance envers le modeleur

En somme, nous avons été en mesure d'identifier quatre enjeux en corrélation avec le cadre référentiel créé à partir de la revue de littérature et quatre autres en se basant sur le principe de l'analyse inductive. Dans les paragraphes qui suivent, les différents enjeux seront décrits. La description de ces enjeux sera réalisée en deux séquences en lien avec la logique de codage. De plus, les descriptions seront appuyées au moyen de certains passages significatifs extraits des verbatims.

3.2.1 Catégorisation des enjeux découlant de l'analyse déductive

3.2.1.1 Lois au Québec

Selon la moitié des répondants, l'un des enjeux relatifs à la responsabilité par rapport à un document 3D viendrait de la règlementation et de l'encadrement actuel entourant la signature d'une maquette 3D. En effet, les participants soulignent que l'OIQ ne semble pas accepter, à ce jour, l'utilisation unique de la maquette 3D comme livrable officiel, du moins, à leurs connaissances. Il a été possible de faire ce constat puisque dans la citation 1, le participant utilise le terme « *convaincre* » en parlant de l'OIQ et de la maquette comme livrable officiel. Ainsi, le terme *convaincre* dans ce cas nous laisse croire que l'entreprise cherche par des raisons ou des preuves, à faire reconnaître la légitimité de la maquette 3D comme document officiel. Pour remédier à cela, plusieurs tentatives ont été mises de l'avant par l'entreprise pour parvenir à faire accepter la maquette 3D par l'OIQ. Il a été possible de relever cet élément dans la première et la septième citation décrites plus bas, puisque le répondant explique qu'ils « *ont mis des efforts* ». Le déterminant « *ils* » fait alors référence aux membres de l'entreprise dans laquelle il travaille. L'utilisation de différents formats de document tel que le PDF ou le format natif CATIA pour signer les documents en sont des exemples. En effet, le répondant dans la première citation ci-bas, explique que les efforts qu'ils ont déployés sont en lien avec le format natif CATIA. Malgré cela, les participants s'entendent pour dire qu'il semble manquer encore d'encadrement et de législation de la part de l'OIQ et de l'OAQ (l'Ordre des Architectes du Québec). La citation numéro cinq vient alors justifier pratiquement mot pour mot le constat réalisé dans la phrase précédente. Selon eux, aucun consensus n'a encore été atteint entre les différentes firmes. Effectivement, dans la citation six, le participant explique qu'« *il y a encore du travail à faire* » et que la dynamique change par rapport aux différentes firmes en faisant la distinction entre les entrepreneurs et les firmes d'ingénierie. Afin d'expliquer ce phénomène, certains participants expliquent que la complexité du modèle 3D pourrait être en cause puisque la législation ne semble pas en mesure de suivre les avancées technologiques dans le temps. Pour appuyer ce constat, le participant dans la troisième citation explique qu'à son « *avis l'opérationnalité de ce truc-là qui fait défaut aujourd'hui* ». Il fait le lien entre la difficulté de mettre une législation en place et les doutes qui entourent la maquette face à son utilisation. Actuellement dans l'organisation interrogée, l'utilisation d'un cahier d'instructions, qui explique clairement les limites et les responsabilités des firmes externes qui travaillent en

collaboration avec eux dans des projets, leur permet de garder un certain contrôle et de baliser les responsabilités pour réduire l'ambiguïté. Il est possible de se fier à la citation huit dans les extraits ci-dessous, pour faire le lien avec le constat précédent. En effet, le participant explique la délimitation qui est réalisée grâce au cahier de charge. Puis, afin de favoriser une responsabilisation complète d'un projet de la part des acteurs, le partage d'une même finalité et la redéfinition du rôle d'un ingénieur intégrateur pourrait amener un changement positif. Les citations numéro deux et neuf peuvent en témoigner. En effet, le participant explique qu'un ingénieur intégrateur pourrait aider et que le fait de ne pas partager la même finalité apporte un sentiment d'être dans une « *game* », donc de jouer l'un contre l'autre.

Tableau 3.3 Extraits tirés des verbatims sur les lois au Québec

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
1-	<p>Participant 2 : « Pour la signature et la responsabilité légale. L'ordre des ingénieurs du Québec se penche depuis à peu près deux ou trois ans là-dessus, c'est de redéfinir le rôle d'ingénieur intégrateur qui existait à une certaine époque, dans certaines industries et qui a été aboli ou non reconnu par l'OIQ parce que lui il n'était ni mécanique, ni électrique, ni civil, il était intégrateur, c'est une contrainte qui vient de l'OIQ. Depuis quelques années on travaille fort pour les <u>convaincre</u> que la maquette est plus importante que le dessin et puis que ça peut être un livrable officiel, pour aller construire avec. <u>On a mis des efforts</u> pour arriver à signer et insérer des maquettes, tu vois, <u>en format natif CATIA.</u> »</p>	<p>Le terme <i>convaincre</i> dans ce cas nous laisse croire que l'entreprise cherche par des raisons ou des preuves, à faire reconnaître la légitimité de la maquette 3D comme document officiel.</p> <p>Plusieurs tentatives ont été mises de l'avant pour parvenir à faire accepter la maquette 3D par l'OIQ telles que le format natif CATIA. Il a été possible de relever cet élément, puisque le répondant explique qu'ils « <i>ont mis des efforts</i> ». Le déterminant « <i>ils</i> » fait alors référence aux membres de l'entreprise.</p>
2-	<p>Participant 2 : « L'ingénieur intégrateur serait une des personnes qui va aider la cause. [hum] Pour la signature et la responsabilité légale »</p>	<p>La redéfinition du rôle d'un ingénieur intégrateur est vue comme une avenue pour améliorer les enjeux en lien avec la responsabilité légale.</p>
3-	<p>Participant 3 : « On a besoin de nouvelles législations entourant le BIM, contrat, oui, effectivement, mais tu sais, je ne sais pas si la législation, la loi, pour moi, la législation en termes de documents électroniques, que ce soit une maquette, je pense qu'elle se met en place, c'est un peu <u>à mon avis l'opérationnalité de ce truc-là qui fait défaut aujourd'hui</u>, là, tu sais... on a encore des doutes sur c'est quoi un format non-propriétaire, un format, même un PDF tu sais maintenant tu es capable de... »</p>	<p>Le participant explique qu'à son « <i>avis l'opérationnalité de ce truc-là qui fait défaut aujourd'hui</i> ». Il fait le lien entre la difficulté de mettre une législation en place et les doutes qui entourent la maquette face à son utilisation.</p>
4-	<p>Participant 2 : « C'est un enjeu parce que vous voyez... chaque ingénieur responsable de discipline doit répondre pour sa propre conception qui est associée à sa discipline. Des fois on travaille avec des architectes et puis les réglementations sont différentes entre l'ordre des architectes et puis l'ordre des ingénieurs. »</p>	<p>La règlementation associée à l'ordre professionnel peut être différente par rapport à la conception. Le manque de conformité peut amener des ambiguïtés.</p>

	Extraits tirés des verbatims	Commentaires associés
5-	Participant 2 : « <i>Ils manquent d'encadrement. Il n'existe pas d'encadrement fourni à l'ordre des ingénieurs du Québec ni à l'ordre des architectes vis-à-vis d'un livrable 3D, qui n'est pas considéré un livrable traditionnel.</i> »	Il y a un manque d'encadrement et de législation de la part de l'OIQ et de l'OAQ.
6-	Participant 2 : « <i>Il y a encore du travail à faire [OK, excellent]. Parce que traditionnellement là, les ingénieurs de projet ils avaient des interfaces entre l'ingénierie et la réalisation, parce que l'on confiait tout le temps la construction à une firme externe. Puis c'était l'ingénieur de la firme externe qui prenait toute la responsabilité. L'ingénieur de projet responsable il ne voyait même pas l'ingénieur concepteur, donc pour lui c'était transparent, c'est son vis-à-vis de la firme qui lui rendait compte. Maintenant ça change, cette dynamique.</i> »	Dans la citation, les termes « <i>Il y a encore du travail à faire</i> » et que la dynamique change par rapport aux différentes firmes en faisant la distinction entre les entrepreneurs et les firmes d'ingénierie, on comprend qu'il n'y a pas encore de consensus entre les différentes firmes.
7-	Participant 2 : « <i>Ils sont en train d'évoluer (OIQ) parce que là la maquette 3D à ma connaissance, n'a jamais été considérée un bien durable officiel d'ingénierie</i> »	Il y a une évolution en lien avec l'officialisation de la maquette 3D comme bien durable.
8-	Participant 5 : « <i>On émet un cahier d'instructions dans les appels de soumissions [OK] 3D [OK]. Donc, qu'est-ce qu'on fait c'est qu'on va émettre, j'en ai fait un cette semaine d'ailleurs, on va émettre un cahier d'instructions en annexe de nos closes particulières pour les soumissionnaires où on va très spécifiquement spécifier qu'est -ce qu'on... c'est quoi le rôle du 3D en termes de notre responsabilité et la responsabilité du livrable de l'entrepreneur.</i> »	Le cahier d'instructions spécifie les limites et les responsabilités des firmes externes qui travaillent en collaboration avec eux dans des projets, cela leur permet de garder un certain contrôle et de baliser les responsabilités.
9-	Participant 5 : « <i>Il y a une game, quand même, il y a une game parce qu'on ne partage pas la même finalité, là [oui]. Les firmes sont payées à produire des dessins. Plus ils produisent de dessins, plus ils sont payés. Qu'est-ce que tu crois que... (rires) tu sais, ils ne sont pas payés pour faire la meilleure conception possible, non, non. Ils sont payés pour faire des dessins.</i> »	L'absence de partage d'une même finalité et d'objectifs communs semble nuire à la qualité de la conception et à la responsabilisation complète d'un projet.

3.2.1.2 Identification du responsable

Un second enjeu fait référence à l'identification du responsable. Effectivement, à la lumière des entrevues, il ne semble pas y avoir de consensus par rapport à l'identification du responsable en cas de problème puisque la totalité des répondants en discutent, mais se contredisent. En effet, dans certains cas, les participants expliquent que l'entreprise est responsable de l'environnement dans lequel la maquette évolue puisqu'elle fournit des catalogues. Les catalogues contiennent tous les standards de conception de l'entreprise en lien avec la discipline en question. Cette constatation peut être justifiée par la troisième citation, où le répondant explique que l'entreprise est responsable de l'*« environnement de la maquette»*, donc des catalogues fournis aux concepteurs. De ce fait, si une erreur se produit, les participants expliquent que l'entreprise prend le blâme. En effet, il est possible de constater que dans la deuxième citation le participant dit *« c'est toujours la responsabilité de [Nom de l'entreprise] »*. Cependant, il est possible de constater que dans d'autres cas, les répondants expliquent plutôt que les ingénieurs peuvent être tenus responsables en cas d'erreur. En effet, le participant sept dans la première citation indique que *« ça reste que c'est l'ingénieur qui met son sceau et c'est lui qui en est responsable et pas nécessairement la compagnie en tant que telle là »*. Puis, dans la citation quatre, malgré ses propos ultérieurs, le participant explique que la responsabilité de l'ingénieur est tout de même grande et qu'il est possible d'être tenu responsable. Pour continuer, certains employés témoignent que les projets multidisciplinaires demandent un partage de responsabilité depuis l'implémentation de la maquette. Effectivement, les citations sept et huit en font état. Ce partage consiste en une signature conjointe qui vient compliquer le processus d'identification. Malgré tout, la citation cinq explique que l'identification du responsable en cas de problème ne semble pas causer d'enjeu. Par contre, la citation six vient brouiller des pistes, puisque le même répondant se questionne : *« Est-ce qu'un individu qui est devenu responsable? Qui est tenu responsable? L'individu ou l'entreprise? »*. Le participant ne semble alors pas tout à fait convaincu et semble remettre en question son propos antérieur.

Puis, dans la dernière citation, le participant explique que la compagnie offre aux employés une lettre qui spécifie qu'elle est l'unique responsable de ce que l'ingénieur réalise dans le cadre de l'entreprise. Il est possible de constater que la compagnie assure une protection aux

parties prenantes. Globalement, les propos contradictoires des participants ne permettent pas d'identifier d'enjeu clair par rapport à l'identification d'un responsable avec l'utilisation de la maquette 3D.

Tableau 3.4 Extraits tirés des verbatims sur l'identification du responsable

	Extraits tirés des verbatims	Commentaires associés
1-	Participant 7 : « ça reste que c'est l'ingénieur qui met son sceau et c'est lui qui en est responsable et pas nécessairement la compagnie en tant que telle là, fait que... je te dirais que je peux comprendre dans certaine situation le fait qu'il y ait de l'individualité là-dedans »	Les ingénieurs peuvent être tenus responsables en cas d'erreur. En effet, le participant indique que « ça reste que c'est l'ingénieur qui met son sceau et c'est lui qui en est responsable et pas nécessairement la compagnie en tant que telle là ».
2-	Participant 2 : « Et ils ne se sont pas entendus. [Nom de l'entreprise] en tant qu'entreprise avec l'entrepreneur. Ce n'est pas l'individu qui était responsable de tout et tout ça, c'est toujours la responsabilité de [Nom de l'entreprise]. »	L'entreprise prend le blâme : « c'est toujours la responsabilité de [Nom de l'entreprise] ».
3-	Participant 4 : « Je veux dire on est responsables de la maquette, mais il y a une <u>responsabilité de faire les environnements de la maquette</u> . [Nom de l'entreprise] est responsable de son environnement de travail. Fait que si jamais il y a de quoi qui ne marche pas, je te donne un exemple : tu aurais une pièce de catalogue qui a été mal faite. Bien ça, c'est notre responsabilité. Mais si cette pièce de <u>catalogue là elle est partout</u> , tout le monde l'a utilisée, bien ça peut poser des problèmes assez graves, là »	Les catalogues contiennent tous les standards de conception de l'entreprise en lien avec la discipline en question. L'entreprise est responsable de l' <u>« environnement de la maquette»</u> , donc des catalogues fournis aux concepteurs.
4-	Participant 4 : « la <u>responsabilité d'un ingénieur c'est quand même grand</u> , là, tu sais, dans le sens que si jamais il y a une erreur, c'est... si jamais il y a une erreur, dans le fond, <u>tu peux être tenu responsable</u> . Fait que mettons il y a une <u>erreur dans la maquette et puis que ça devient un livrable</u> , <u>bien ils ont toujours peur</u> , bien « Oui, mais là, moi ce que j'ai approuvé c'est... moi, je suis très confiant dans mes dessins parce que j'ai vu toutes les cotes »	La responsabilité des ingénieurs est grande et ceux-ci peuvent être tenus responsables en cas d'erreur. Le participant indique que cette responsabilité en cas d'erreur amène une crainte chez les ingénieurs.

	Extraits tirés des verbatims	Commentaires associés
5-	Participant 3 : « <i>Je ne vois pas qu'il y a d'enjeux... identifier les responsables lors d'un problème... c'est différent, mais ce n'est pas vraiment différent, il y a quelqu'un qui a modélisé, il y a quelqu'un qui... c'est clair que tu as la traçabilité, ça, c'est un autre de mes sujets, parce que c'est lié au numérique, c'est comme un dessin.</i> »	Il ne semble pas y avoir d'enjeux d'identification de responsable lors d'une erreur.
6-	Participant 3 : « <i>Je ne sais pas. Est-ce qu'un individu qui est tenu responsable, qui est tenu responsable ou l'entreprise? Qui est tenu responsable ou l'entreprise? Honnêtement ... je sais qu'il y a une responsabilité individuelle de l'ingénieur, c'est ça qui change. Personne d'autre...</i> »	Le questionnement du participant : « <i>Est-ce qu'un individu qui est tenu responsable? Qui est tenu responsable? L'individu ou l'entreprise?</i> », nous amène à croire que la responsabilité n'est pas clairement balisée entre l'entreprise et l'ingénieur.
7-	Participant 2 : « <i>C'est facile à voir d'où ça vient l'erreur et tout ça, et puis d'identifier le responsable puisqu'en faisant des revues de conception interdisciplinaire on voit très vite qui est en erreur</i> »	L'identification du responsable est facile, malgré la conception interdisciplinaire puisque des revues de conception sont réalisées.
8-	Participant 1 : « <i>les responsabilités du conduit c'est une autre discipline et puis en avant de ça aussi, il y a la mécanique pour les vannes et tout ça, fait que toutes ces disciplines-là sont interreliées, elles ont toutes leurs responsabilités, mais par contre là, on leur demande de signer une maquette... on se retrouve dans des façons... c'est sûr que...ils signent toutes les trois, mais la responsabilité de l'un implique la responsabilité de l'autre, fait que... ça, ça été plus compliqué quand on a commencé à travailler avec les maquettes</i> »	Les projets multidisciplinaires demandent un partage de responsabilité depuis l'implémentation de la maquette. Cela consiste en une signature conjointe qui vient compliquer le processus d'identification.
9-	Participant 6 : « <i>chez [Nom de l'entreprise], ils ont fait une lettre comme quoi que ce soit eux qui prenaient la responsabilité de tout ce que j'avais fait pendant que j'étais ici. Ce n'était pas moi. Et là, avec cette lettre-là, j'ai pu canceller mon assurance.</i> »	Il est possible de constater que la compagnie assure une protection aux parties prenantes grâce à une lettre de responsabilité.

3.2.1.3 Distribution des risques

À la lecture des verbatims, le défi de la distribution des risques ne semble pas être significatif puisqu'un ensemble de répondants explique que les risques sont en grande majorité pris par la compagnie pour laquelle ils travaillent. En effet, la responsabilité d'un projet n'est pas distribuée entre les parties prenantes ou avec les firmes avec lesquelles l'entreprise fait des affaires. La citation trois explique bien que l'entreprise cherche à aider les petites industries, c'est pourquoi elle prend le blâme en cas d'erreurs. On peut aussi comprendre, grâce aux citations quatre, cinq et six, que la compagnie est l'ultime responsable en cas d'erreurs et qu'elle prend la responsabilité de payer le surplus en cas de besoin. En effet, les participants expliquent que « *personne ne sera chicané* », que « *le blâme ira à la personne, mais par contre il n'y aura pas de ... sanction* » et que « *c'est comme ça* », « *[Nom de l'entreprise] prend la responsabilité* ». De plus, elle s'assure de posséder la propriété intellectuelle intégrale de la maquette 3D. Cela dit, les firmes externes travaillent pour l'entreprise qui gère le projet au complet. Le choix de ne pas partager les risques et de conserver la maquette à l'interne a été mis de l'avant, selon les participants, à la suite de certains conflits. Selon la citation deux, l'entreprise ne se serait pas entendue dans le passé avec les entrepreneurs alors, elle en a décidé ainsi. Selon eux, l'utilisation du cahier d'instruction par l'entreprise est un moyen utilisé pour délimiter et contrôler les rôles et les responsabilités des parties externes qui contribuent aux projets. Dans la première citation, le participant explique que le cahier est un « *bon outil* » qui permet de gérer les autres puisqu'il y est inscrit les avancements et les attentes/exigences envers les autres.

Tableau 3.5 Extraits tirés des verbatims sur la distribution des risques

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
1-	Participant 2 : « Je crois que c'est <u>un bon outil</u> , là, le cahier d'instructions, le cahier des charges, donc. Ce document-là, précis, pour celui qui va prendre le contrat [...] il précise très clairement le contenu : voilà, jusqu'où on est rendus, voilà ce qu'on a réalisé, voilà ce qui reste à faire et voilà comment tu vas le faire, parce que moi j'exige que tu les fasses de cette manière. Donc, en partant, là, les choses sont très claires »	Le participant explique que le cahier est un « <i>bon outil</i> » qui permet de gérer les autres puisqu'il y est inscrit les avancements et les attentes/exigences envers les autres.
2-	Participant 2 : « Et ils ne se sont pas entendus. [Nom de l'entreprise] en tant qu'entreprise avec l'entrepreneur. Ce n'est pas l'individu qui était responsable du lot et tout ça, c'est toujours la responsabilité de [Nom de l'entreprise]. »	Les firmes externes travaillent pour l'entreprise qui gère le projet au complet. Le choix de ne pas partager les risques et de conserver la maquette à l'interne a été mis de l'avant, selon les participants, à la suite de certains conflits.
3-	Participant 6 : « on est là aussi pour aider les petites industries autour, ça, c'est mon opinion personnelle, là pour aider un peu les compagnies autour et quand elles travaillent pour nous, même s'il y a des... blâmes, ce n'est pas pareil si tu es en chantier [OK] ça, c'est différent. Mais selon, pendant la conception... je pense qu'on prend le blâme pareil. »	L'entreprise cherche à aider les petites compagnies, c'est pourquoi elle prend le blâme en cas d'erreurs.
4-	Participant 3 : « Qui est tenu, tu veux dire [ah, oui, désolée]. Tenu responsable ou l'entreprise? Honnêtement... (rires) je sais qu'il y a une responsabilité individuelle de l'ingénieur, c'est ça qui change. Personne d'autre. Donc s'il y avait eu... tu sais, tu construis un pont et puis il y a un accident, tu sais? Ils vont aller chercher, légalement, ils vont aller chercher l'ingénieur qui est <u>tenu</u> , puis ils vont aller chercher la compagnie parce que la compagnie peut payer »	L'ingénieur en cas d'erreur sera identifié, mais au final la compagnie va payer pour l'erreur de celui-ci. On mentionne donc une responsabilité partagée.

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
5-	Participant 6 : « [Nom de l'entreprise] prend la responsabilité et puis il n'y a pas personne qui va être chicané ou qui va avoir... une sanction [OK]. La responsabilité c'est [Nom de l'entreprise], qui la prend. »	L'entreprise semble être la seule responsable et ne semble pas donner de sanction aux ingénieurs en cas d'erreur.
6-	Participant 6 : « Le blâme va être à la personne, mais par contre, il n'y aura pas de... sanction, il n'y aura pas rien, on va le corriger [OK] et puis ça prend un peu plus de temps et puis ça va coûter un petit peu plus cher, mais c'est comme ça... Même avec les firmes »	Le blâme sera mis sur le responsable, mais l'entreprise ne donnera pas de sanction au responsable. Elle prendra aussi la responsabilité financière en cas d'erreur.

3.2.1.4 Distribution des rôles et responsabilités

L'ambiguïté par rapport aux rôles et aux responsabilités depuis la venue de la maquette 3D semble être, selon les répondants, un enjeu dans certains cas, mais il ne semble pas y avoir de message unanime sur le sujet. En effet, la totalité des répondants a discuté du concept de responsabilité, sans pour autant avoir des avis semblables. Par ailleurs, les répondants ne semblent pas avoir une compréhension uniforme des responsabilités juridiques ou professionnelles qui entourent la maquette 3D dans l'organisation. Dans certains cas, comme l'explique la première citation, il semblerait que les responsabilités n'aient pas nécessairement changé, mais que c'est plutôt le travail qui aurait changé. Dans d'autres cas, le discours de certains participants met en lumière l'évolution des rôles et des responsabilités selon le besoin de la cause (citation 5), tandis que d'autres extraits indiquent que l'organisation dans laquelle la maquette 3D est utilisée n'a pas changé ses pratiques ni sa structure (citation 4). Ainsi, les répondants ne sont pas unanimes. En effet, certains participants, comme dans la citation huit et neuf, indiquent que la responsabilité change et est impacté par le passage au 3D, tandis que dans la citation un, le participant indique qu'il ne croit pas que c'est le cas. D'un côté les participants nous informent que la maquette est un outil qui permet d'identifier avec justesse les erreurs et les responsables, tandis que d'un autre côté (citation 7), ils nous indiquent qu'il existe tout de même des difficultés d'identification de responsabilité lorsque toutes les disciplines sont intégrées (citation 2). Selon les participants, prendre la responsabilité du modèle semble être un enjeu dans certains cas puisqu'un signataire pourrait être tenu

responsable d'éléments inclus dans le modèle par des collègues ou par d'autres disciplines (citation 6). Somme toute, il est difficile, voire impossible, d'émettre un constat clair par rapport à l'ambiguïté face aux rôles et responsabilités par rapport à la maquette 3D dans le cas de l'organisation en question.

Tableau 3.6 Extraits tirés des verbatims sur la distribution des rôles et responsabilités

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
1- Participant 1 : « <i>Fait que tu sais, les rôles et responsabilités n'ont pas vraiment changé, je dirais, nos rôles restent les mêmes, la job reste la même, mais c'est plus facile de voir les interfaces, plus facile de faire des échanges...</i> »		Il semblerait que les responsabilités n'ont pas nécessairement changé.
2- Participant 2 : « <i>Dans un monde traditionnel 2D, l'ingénieur qui signait laissait son document, son dessin 2D qui était fait par un dessinateur sous sa supervision, il était responsable à 100 % du contenu du dessin [hu-hum] il était redéposable pour toutes erreurs incluses dans le dessin. Aujourd'hui, quand on parle d'une maquette 3D, c'est un peu difficile de délimiter la zone de responsabilité d'un ingénieur</i> »		Par rapport au mode traditionnel, la maquette 3D semble apporter des difficultés d'identification des zones de responsabilité.
3- Participant 2 : « <i>Un dessin d'interface, qui explique de quelle manière les deux disciplines se connectent. Ce document-là n'existe pas dans l'industrie de la construction et ça crée plein de problèmes au niveau de la responsabilité ou des limites de responsabilité</i> »		Un dessin d'interface est inexistant dans la construction.
4- Participant 3 : « <i>L'organisation n'a pas changé. Si l'organisation n'a pas changé, est-ce que ça a un impact sur la responsabilité par rapport à la maquette?</i> »		L'organisation dans laquelle la maquette 3D est utilisée n'a pas changé ses pratiques ni sa structure.
5- Participant 3 : « <i>L'évolution s'est faite naturellement en fonction des rôles et de la valeur ajoutée que pouvait apporter la maquette</i> »		Il y a eu une évolution des rôles et des responsabilités selon le besoin de la cause.
6- Participant 3 : « <i>C'est comme si tu vas faire un party chez ton voisin, hein? (rires) [Non, c'est sûr] tu ne peux pas être responsable [hum] pas responsable de</i> »		Prendre la responsabilité du modèle semble être un enjeu dans certains cas puisqu'un

	Extraits tirés des verbatims	Commentaires associés
	<i>tout, parce que les autres voisins aussi ils sont chez ton voisin, donc s'il y a de la casse, c'est de la responsabilité de qui, là? Mais, même si tu as des accès, même si tu as la traçabilité, tu sais? Bien, il faut qu'il y ait une certaine... donc ça, c'est important et puis... mais ce n'est pas lié à la maquette, c'est la même chose. »</i>	signataire pourrait être tenu responsable d'éléments inclus dans le modèle par des collègues ou par d'autres disciplines.
7-	Participant 4 : « Il n'y a pas nécessairement d'enjeux de responsabilités parce que c'est quand même clair [oui] où les rôles et responsabilités s'arrêtent »	Le balisage des rôles et responsabilités semble être clair pour le participant. Par contre, l'utilisation du terme "quand même" porte à confusion.
8-	Participant 5 : « Fait que les responsabilités changent et c'est pour ça qu'une maquette, ça, c'est très important : c'est que ça sensibilise justement, ça, je pense, j'avais un petit peu mentionné au début, ça sensibilise les gens à dire : bien, regarde, moi, là, là »	La maquette semble sensibiliser les parties prenantes dans un projet aux responsabilités de l'un et de l'autre.
9-	Participant 6 : « et puis bien souvent il y a des ingénieurs qui ne la touchent même pas, c'est leur technicien ou leur modeleur qui va travailler, qui va la tourner, qui va aller cacher des choses pour que l'ingénieur ait de l'information. Ça, ça devrait changer »	L'implication des modeleurs dans la conception avec un manque d'implication de l'ingénieur constitue une structure de responsabilité qui devrait changer, selon le répondant.
	Participant 7 : « Bien encore, tu sais, ça revient un peu à ce que je disais tantôt là, c'est qu'en civil beaucoup on a des... façons de faire très 2D donc oui le passage au mode 3D a influencé la responsabilité. »	Il y a une corrélation entre le passage du mode 2D à 3D et les responsabilités.

3.2.2 Catégorisation des enjeux découlant de l'analyse inductive

À la suite de l'analyse déductive des verbatims, la seconde analyse a permis de soulever différentes catégories qui semblaient se dégager des discours des participants et qui ne semblaient pas être en lien avec le cadre référentiel. Dans les paragraphes qui suivent, les classifications seront présentées et détaillées au même titre qu'à la section précédente.

3.2.2.1 Difficulté supplémentaire d'appréhender l'entièreté du contenu en passant du 2D vers le 3D

Suivant l'analyse inductive des verbatims, il a été possible de remarquer une tendance dans le discours de cinq participants. En effet, selon les dires des participants, en utilisant la méthode traditionnelle 2D, les professionnels sont amenés à signer des plans 2D sur lesquels l'ouvrage à construire est représenté par des vues. Toutefois avec l'utilisation de la maquette numérique 3D, les professionnels sont plutôt amenés à valider et à signer une maquette qui contient de telles vues, ainsi que de nombreuses autres données et paramètres plus ou moins explicites. Il est possible de faire ce constat puisque la deuxième citation explique que les ingénieurs « *vont regarder la maquette, mais une maquette, ça contient énormément d'informations et puis ça, eux, ne sont pas confortables à valider que toute l'information est bonne dans la maquette* ». Ainsi, selon les répondants, il peut être difficile d'être certain de cerner l'ensemble des éléments sous la responsabilité du signataire puisque, comme la citation cinq l'indique « *Quand on parle d'une maquette 3D, c'est un peu difficile de délimiter la zone de responsabilité d'un ingénieur* ». De plus, la première citation et la septième font la distinction entre l'aisance de signer un document papier et celle de signer un document numérique. Selon eux, cette difficulté amène alors plusieurs ingénieurs à ne pas vouloir ou à ne pas être à l'aise de signer la portion de la maquette dont ils sont responsables. Cela dit, les répondants détaillent un aspect en particulier en lien avec le passage du mode 2D vers le mode 3D. Néanmoins, seulement cinq participants sur sept ont discuté de ce phénomène, ainsi il n'est pas clair si celui-ci est vécu par tous les utilisateurs.

Tableau 3.7 : Extraits tirés des verbatims sur la difficulté supplémentaire d'appréhender l'entièreté du contenu en passant du 2D vers le 3D

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
1- Participant 7 : « <i>au niveau des individus ce n'est pas tout le monde qui... surtout quand tu arrives avec les questions de responsabilités qui ont le même niveau de confort avec la maquette là, il y en a qui sont très à l'aise avec ça et puis tu en as d'autres qui, pour multiples raisons vont être plus enclin à voir quelque chose qui... sur lequel ils ont plus de contrôle, par exemple le dessin papier en 2D classique là, <u>avec l'habillage comme eux veulent le voir, qui pour eux n'a pas d'ambiguïté, tu sais c'est beaucoup d'individualité là-dedans</u></i> »	Il y a une distinction entre l'aisance à signer un document papier classique et celle de signer un document numérique	
2- Participant 4 : « <i>Ils vont regarder la maquette, mais une maquette, ça contient énormément d'informations et puis ça, eux, ne sont pas confortables à valider que toute l'information est bonne dans la maquette.</i> »	Avec l'utilisation de la maquette numérique 3D, les professionnels sont plutôt amenés à valider et à signer une maquette qui contient de telles vues, ainsi que de nombreuses autres données et paramètres plus ou moins manifestes.	
3- Participant 4 : « <i>... tu sais, la responsabilité d'un ingénieur c'est quand même grand, là, tu sais, dans le sens que si jamais il y a une erreur, c'est... si jamais il y a une erreur, dans le fond, tu peux être tenu responsable. Fait que mettons il y a une erreur dans la maquette et puis que ça devient un livrable, bien ils ont toujours peur, bien « <u>Oui, mais là, moi ce que j'ai approuvé c'est... moi, je suis très confiant dans mes dessins parce que j'ai vu toutes les cotes</u> ».</i> »	Être en mesure de s'assurer que toutes les cotes ont été validées peut être un travail ardu et apporter une certaine crainte aux ingénieurs.	
4- Participant 3 : « <i>Donc, effectivement, les ingénieurs ont peur de l'utilisation qui pourrait être faite de la maquette. Alors on leur dit « Même dans un dessin, ce n'est pas tout le monde qui sait lire des dessins » toi, tu ne sais pas lire un dessin d'ingénierie [hum] et puis certaines disciplines c'est très compliqué.</i> »	Il est dit qu'il y a toujours place à une mauvaise interprétation due à la complication de certaines disciplines et des différentes vues incluses dans le modèle.	

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
4-	<p>Participant 3 - Suite : <i>Donc, il y a toujours une place à la mauvaise interprétation [oui], mais c'est encore pire honorer une maquette, parce que tu as tellement de vues et puis tu peux regarder quelque chose et puis certaines conventions [hu-hum] de représentation graphique... en 2D, mais qui ne s'applique pas en 3D, donc, il y a un peu de tout »</i></p>	
5-	<p>Participant 2 : « <i>Quand on parle d'une maquette 3D, c'est un peu difficile de délimiter la zone de responsabilité d'un ingénieur. On a des mécanismes pour le faire, disons, on sait comment isoler certaines portions de maquette et dire « Pour cette portion c'est l'ingénieur qui est responsable » et lui, il est prêt à signer. Ce n'est pas tous les ingénieurs qui sont prêts à le faire, mais il y en a qui le font. Il y en a d'autres qui disent « Non, je ne signe pas ça, je signe mon dessin à la fin. » »</i></p>	Il peut être difficile d'être certain de cerner l'ensemble des éléments sous la responsabilité du signataire.
6-	<p>Participant 5 : « <i>Bien, c'est sûr au niveau maquette signée scellée... on a beaucoup de travail qui a été fait, responsabiliser les ingénieurs à garder la maquette, à les... tu sais, à.... comment dire? À prendre pour justement la responsabilité de valider une maquette et plus seulement... du... dessin... du 2D »</i></p>	Il y a une nuance entre la responsabilité d'un dessin et celle de la maquette 3D étant donné que la validation de la maquette 3D est plus complexe.
7-	<p>Participant 5 : « <i>Maintenant, c'est sûr que tu sais c'est ça, c'est là-dessus que c'est un peu "toutché" parce que qu'est-ce que tu signes? Parce que dans un dessin tu signais le papier, OK? [Oui] Une maquette, bien, tu signes une conception 3D avec tous les éléments qui s'y rattachent. »</i></p>	Il y a une distinction entre l'aisance à signer un document papier et celle de signer un document numérique.

3.2.2.2 Différences entre les disciplines

Certains participants à l'étude ont aussi mentionné qu'il pourrait y exister une variation par rapport aux responsabilités envers la maquette en fonction de la discipline. En effet, la deuxième citation explique que la responsabilité par rapport à la maquette est accrue dans certaines disciplines plutôt que d'autres. De plus, la première citation explique aussi qu'*« en fonction de l'importance du système, ou de l'ouvrage, la responsabilité est plus accrue que dans d'autres disciplines. »* Cette variation est expliquée par la difficulté de représenter fidèlement en 3D des éléments spécifiques. Effectivement, les répondants expliquent qu'il existe certaines conventions de représentation 2D qui ne s'appliquent pas nécessairement au 3D. Cette constatation a pu être observée en raison de la deuxième citation qui utilise les termes « *pas nécessairement faciles à représenter en 3D* ». De plus, l'interprétation multiple des représentations, plus particulièrement l'interprétation en fonction des vues contenues dans le modèle semble ajouter une contrainte. La troisième citation indique qu'*« il y a toujours une place à la mauvaise interprétation [oui], mais c'est encore pire honorer une maquette, parce que tu as tellement de vues »*. Ainsi, trois répondants s'entendent pour dire qu'en géologie, en excavation et en bétonnage, il semblerait y avoir une réticence plus élevée à prendre la responsabilité du modèle 3D en raison des contraintes physiques, de calcul, de sécurité ou autres qui sont difficiles à représenter adéquatement.

Tableau 3.8 Extraits tirés des verbatims sur les différences entre les disciplines

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
1- Participant 2 : « <i>Quand on parle de géologie, quand on parle d'excavation, les contraintes sont plus importantes que... quand on parle de structure, c'est plus important que le système de tuyauterie. En fonction de l'importance du système, ou de l'ouvrage, la responsabilité est plus accrue que dans d'autres disciplines. On a plus de contraintes. Soit physique, soit de calcul, soit de sécurité, que dans d'autres disciplines c'est là où la différence se fait.</i> »		Il est expliqué qu'« <i>en fonction de l'importance du système, ou de l'ouvrage, la responsabilité est plus accrue que dans d'autres disciplines.</i> » Cette variation est expliquée par la difficulté de représenter fidèlement en 3D des éléments spécifiques.
2- Participant 2 : « <i>Tout dépendant des disciplines, en bétonnage il y a beaucoup de... détails en bétonnage, beaucoup de... représentation d'éléments qui sont à l'intérieur d'un béton qui est coulé qui n'est pas nécessairement facile à représenter en 3D.</i> »		La responsabilité par rapport à la maquette est accrue dans certaines disciplines plutôt que d'autres.
3- Participant 3 : « <i>Donc, effectivement, les ingénieurs ont peur de l'utilisation qui pourrait être faite de la maquette. Alors on leur dit « Même dans un dessin, ce n'est pas tout le monde qui sait lire des dessins » toi, tu ne sais pas lire un dessin d'ingénierie [hum] et puis certaines disciplines c'est très compliqué. Donc, il y a toujours une place à la mauvaise interprétation [oui], mais c'est encore pire honorer une maquette, parce que tu as tellement de vues et puis tu peux regarder quelque chose et puis certaines conventions [hu-hum] de représentation graphique... en 2D, mais qui ne s'appliquent pas en 3D, donc, il y a un peu de tout.</i> »	L'interprétation multiple des représentations, plus particulièrement l'interprétation en fonction des vues contenues dans le modèle semble ajouter une contrainte.	

3.2.2.3 Signature de la maquette numérique

L'analyse des verbatims nous a aussi permis d'identifier l'émergence d'un second thème qui semble absent dans la littérature. En effet, tous les participants ont discuté à plusieurs reprises de la signature d'une maquette numérique 3D. Selon eux, la signature du média 3D pourrait

être en lien avec les enjeux de responsabilité. En effet, certains d'entre-eux expliquent que le changement drastique d'outil et de méthode de représentation des conceptions influe la responsabilité des parties prenantes dans un projet, plus particulièrement des signataires. La première citation indique que « *du jour au lendemain, les ingénieurs avaient un nouvel outil, une nouvelle façon de représenter leurs conceptions qu'ils devaient dans le fond signer et être responsables* ». De plus, la sixième citation indique que « *Le jour où il a fallu, où on a voulu signer la maquette, c'était ça la responsabilité [OK]. Donc, l'entente contractuelle... est une source d'enjeux* ». Grâce à la deuxième citation, on comprend que dans certaines disciplines, comme l'ingénierie mécanique, le concept de signer une maquette 3D semble être moins problématique. En effet, il est dit que les « *ingénieurs mécaniques eux autres c'est vraiment plus naturel* ». Effectivement, selon eux, le besoin de dessins et de plans 2D semble moins grand dans cette discipline. Toutefois, pour d'autres parties prenantes, la signature de la maquette 3D peut amener de la confusion. La troisième citation indique que c'est « *toujours un peu ambigu* ». Les signataires ne comprennent pas l'importance de signer celle-ci puisqu'elle n'est pas un livrable officiel. Effectivement, la quatrième citation indique que l'« *on suit toujours les règles du jeu... les règles déontologiques de l'OIQ* », en parlant des ingénieurs, mais pourtant la maquette n'est pas un livrable contractuel selon la quatrième citation. Ainsi, selon les participants, l'utilisation du 3D comme outil référentiel semblerait causer moins de difficultés jusqu'à ce que l'on exige une signature avec ce médium.

Tableau 3.9 Extraits tirés des verbatims sur la signature de la maquette numérique

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
1- Participant 7 : « <i>2D donc oui le passage au mode 3D a influencé la responsabilité, les enjeux de responsabilités parce que c'est... tu sais, du jour au lendemain, les ingénieurs avaient un nouvel outil, une nouvelle façon de représenter leurs conceptions qu'ils devaient dans le fond signer et être responsables.</i> »		Le changement drastique d'outil et de méthode de représentation des conceptions impacte la responsabilité des parties prenantes dans un projet, plus particulièrement des signataires.
2- Participant 7 : « <i>Ingénieurs mécaniques eux autres c'est vraiment plus naturel par rapport à ce qu'ils font de... signer légalement, même pour une émission pour construction, quelque chose qui est en 3D et qui n'aurait pas nécessairement de dessins ou très peu [OK].</i> »		Dans certaines disciplines, comme l'ingénierie mécanique, le concept de signer une maquette 3D semble être moins problématique.
3- Participant 4 : « <i>Parce qu'à la fin, on sort encore beaucoup de plans [OK] et puis on a fait aussi des maquettes signées scellées, fait que maintenant, c'est toujours un peu ambigu, bien pour certaines personnes, parce que... ils pensent que vu qu'on signe et ne scelle pas la maquette elle n'est pas un livrable, elle n'est pas un... je veux dire c'est pas « contractuel » de faire la maquette.</i> »		La signature de la maquette 3D peut amener de la confusion puisque le terme "toujours un peu ambigu" est utilisé pour décrire la signature et l'apposition du sceau sur la maquette.
4- Participant 5 : « <i>On suit toujours les règles du jeu... les règles déontologiques de l'OIQ [OK] fait que qu'est-ce qui arrive c'est que là-dedans c'est toujours l'ingénieur-concepteur qui, le projeteur ou... là on appelle peut-être plus ça le projeteur, mais l'ingénieur-concepteur qui a donné, qui a fait la conception, qui faut qui signe et scelle la conception.</i> »		La maquette n'est pas un livrable contractuel selon l'OIQ.
5- Participant 1 : « <i>Bien, nous autres, c'est assez simple, là. Tu sais, je vais signer, mettons, tout ce qui est mécanique et ce qui va être civil, bien... il y a comme une représentation qu'on fait, nous autres, quand on fait un PDF, on dit « On montre les composants signés scellés. » Fait que tu vas avoir, mettons le contexte au complet.</i> »		Les signataires ne comprennent pas l'importance de signer celle-ci puisqu'elle n'est pas un livrable officiel.

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
6-	Participant 3 : « <i>Le jour où il a fallu, où on a voulu signer la maquette, c'était ça la responsabilité [OK]. Donc, l'entente contractuelle... est une source d'enjeux à ce niveau-là parce que... la responsabilité commerciale, légale ou professionnelle... est mise à mal. Le modèle, là, on vient de le changer, mais pas un peu, là.</i> »	L'entente contractuelle semble être une source d'enjeu en lien avec la responsabilité de tous types.
7-	Participant 2 : « <i>La loi au Québec dit qu'on ne peut pas aller sur un site de construction, dans un chantier sans avoir des dessins 2D signés par l'ingénieur.</i> »	Il ne semble pas y avoir de lois par rapport au 3D comme livrable officiel.
8-	Participant 6 : « <i>Toutes ces disciplines-là sont interreliées, elles sont toutes leurs responsabilités, mais par contre là, on leur demande de signer une maquette [hu-hum] ... on se retrouve dans des façons... c'est sûr que... ils signent tous les trois, mais la responsabilité de l'un implique la responsabilité de l'autre, fait que... ça, ça a été plus compliqué quand on a commencé à travailler avec les maquettes.</i> »	Le fait de travailler avec plusieurs disciplines entrecroisées compliquait le travail et la signature des maquettes. Il n'est pas clair si cet enjeu est résolu.

3.2.2.4 Confiance envers le modeleur

Le dernier élément qui émane de trois entrevues sur sept dans le cadre de l'analyse inductive des résultats est le concept de confiance envers le modeleur. En effet, selon les répondants, les modeleurs ont pris beaucoup d'importance avec l'arrivée de la maquette 3D. La troisième citation explique justement que la responsabilité est devenue grande face à la maquette 3D. Autrefois, les modeleurs se nommaient les dessinateurs, mais au fil des années leur titre a aussi évolué (citation 4). Cela dit, les participants expliquent que les ingénieurs se fient énormément sur eux pour évaluer la maquette 3D. La première citation le montre bien en expliquant que « *s'il y a un très grand lien de confiance avec son modeleur, bien, peut-être, tu sais, il va peut-être être plus à l'aise pour dire « J'approuve »* ». Selon les paroles du participant, les utilisateurs doivent avoir une compréhension et une connaissance adéquate pour pouvoir se promener dans la maquette. Actuellement, selon eux, ce n'est pas le cas pour tous. Ainsi, le modeleur viendrait soutenir l'ingénieur dans la validation de la maquette 3D. Cela dit, selon

les participants, la confiance qui existe entre l'ingénieur et le modeleur impacterait potentiellement le degré d'aisance à signer la maquette 3D.

Tableau 3.10 Extraits tirés des verbatims sur la confiance envers le modeleur

Extraits tirés des verbatims	Commentaires associés
<p>1- Participant 4 : « si il y a un très grand lien de confiance avec son modeleur, bien, peut-être, tu sais, il va peut-être être plus à l'aise pour dire « J'approuve qu'est-ce qui est dans cette maquette-là » [OK], mais tu sais... ça a toujours été... moi, tu sais, moi je peux juste valider, tu sais, je vais aller mesurer certains objets, je dis « OK, ça c'est bien », mais... en tout cas, d'après moi il y a vraiment un encore un enjeu à ce niveau-là parce que... même si elle est utilisée, il y a beaucoup d'ingénieurs qui font pas encore confiance complètement à la maquette. »</p>	<p>Les ingénieurs se fient énormément sur les modeleurs pour évaluer la maquette 3D. Le lien de confiance entre le modeleur et l'ingénieur semble être un aspect fondamental pour permettre à l'ingénieur d'être à l'aise avec la prise de responsabilité.</p>
<p>2- Participant 5 : « On fait confiance à des modeleurs et puis eux autres ont des responsabilités qui sont assez grandes aussi là-dedans, là. »</p>	<p>Le modeleur impacterait potentiellement le degré d'aisance à signer la maquette 3D.</p>
<p>3- Participant 4 : « Et puis ça c'est lié un peu au fait que dans le fond ici c'est des modeleurs qui font la maquette et ce n'est pas les ingénieurs. »</p>	<p>La responsabilité du modeleur est devenue grande face à la maquette 3D étant donné que c'est lui qui fait la maquette.</p>
<p>4- Participant 5 : « rôle du dessinateur il ne changera pas, là, mais tu sais on a certaines personnes qui ont gravité vers ça, et puis là on ne les appelle plus des... avant, on les appelait des dessinateurs, là, c'est vraiment des modeleurs. »</p>	<p>Le rôle et le titre des dessinateurs a évolué pour celui du modeleur.</p>

3.2.3 Synthèse de la première et deuxième phase d'entrevues

Principalement, les résultats de la première et la deuxième phase d'entrevues (1-2) laissent planer des doutes par rapport aux enjeux de responsabilité. En effet, il était fascinant d'observer l'absence de prise de position ferme sur le sujet, ainsi que le manque de position partagée. Ce qui est ressorti des premiers résultats était alors l'incertitude des membres de l'organisation à

savoir s'il existait ou non un problème en lien avec la responsabilité. De plus, il n'est pas clair que l'organisation en question a vécu des changements au niveau de l'organisation du travail. Pour continuer, il est difficile de savoir si les responsabilités juridiques et professionnelles sont comprises ou si la différence entre les deux l'est dans l'utilisation du BIM ou dans la manière dont eux l'utilisent. Ainsi, il n'y a pas eu de message fort ni de voix unanime pour affirmer ou infirmer l'enjeu en lien avec les responsabilités.

Cependant, une tendance par rapport au concept d'apprehender l'entièreté du contenu par rapport à la maquette 3D et la signature semble se dessiner. En effet, l'accent est mis sur la partie technique de la maquette (les vues, les orientations, les attributs, l'information visible et non visible contenue dans le modèle). Cela nous laisse croire qu'il pourrait y avoir un lien entre le passage du mode 2D vers le mode 3D et sur la réticence à signer. Par conséquent, suite aux différentes entrevues que nous avons réalisées avec certains membres de l'organisation ayant en commun une compréhension approfondie de l'utilisation de la maquette 3D, nous avons été interpellés par cet élément. Pour parfaire notre compréhension, nous avons donc décidé de réaliser une troisième phase d'entrevues avec les mêmes répondants de l'organisation pour collecter davantage d'information sur le phénomène.

3.3 Résultats de la troisième phase d'entrevues

Suite à l'analyse des verbatims, nous avons été en mesure d'identifier sept grandes catégories d'enjeux en nous basant sur le principe de l'analyse inductive. L'utilisation de cette méthodologie d'analyse a été un choix réfléchi puisque la difficulté supplémentaire d'apprehender l'entièreté du contenu d'un modèle 3D avait seulement été effleurée par la littérature. Ainsi, nous étions dans une logique d'exploration. Dans les paragraphes qui suivent, nous tenterons de dépeindre les résultats. Ainsi, après l'analyse de la troisième phase d'entrevues en lien avec la difficulté supplémentaire d'apprehender l'entièreté du contenu, voici les catégorisations des enjeux qui en sont ressorties (Tableau 3.11).

Tableau 3.11 Catégorisation des enjeux de la troisième phase d'entrevues

Catégories	Enjeux (codage inductif)
Enjeu d'appréhender l'entièreté du contenu	<ul style="list-style-type: none"> • Appréhender l'entièreté du contenu • Implication dans la préparation de la maquette • Convention de représentation • Interprétations multiples • Finalité du document • Modèle théorique par rapport à la réalité terrain • Non-altérabilité de la maquette 3D

3.3.1 Appréhender l'entièreté du contenu

Pour débuter, on peut souligner que la totalité des professionnels ayant participé à la troisième phase d'entretiens ont mentionné un inconfort par rapport à la signature de la donnée numérique (3D) que l'on peut attribuer à la difficulté d'appréhender l'entièreté du contenu d'une maquette 3D. En effet, dans le monde de la donnée numérique 2D, les participants semblent davantage confortables face à l'inventaire des éléments à valider avant de prendre la responsabilité du contenu du document en le signant. En effet, dans la troisième citation, le participant fait référence au principe de « *What you see is what you get* » pour discuter du 2D. De plus, dans la deuxième citation le participant décrit les paramètres d'une maquette comme étant « *cachés dans l'arbre* » et « *quelque chose que tu ne contrôles plus* ». L'utilisation de ces mots nous laisse entendre qu'il y a un inconfort relié au 3D. Dans un dessin (2D), l'information est directement sous leurs yeux : les lignes, les spécifications, et l'information se répertorient et se valident comme une liste de contrôle (*checklist*). Cette complexité supplémentaire semble créer un inconfort de validation pour les professionnels puisque le périmètre/les frontières de la validation deviennent plus ambigus. Dans la sixième citation, le participant explique bien ce phénomène en disant que « *quand on parle de papier, c'est papier. Tu le vois, ce que tu signes* ».

Par contre, selon les participants, avoir la certitude de valider l'entièreté de l'information qui relève de la responsabilité du signataire au sein de la maquette devient ardu parce que la maquette met en relation un monde d'éléments difficiles à répertorier. La cinquième citation met ce point en lumière en expliquant la différence entre le modèle 2D et le 3D : « *tandis qu'un modèle 3D tu rentres dans un monde où il y a des éléments qui sont visibles, des éléments que tu peux cacher, des propriétés, des attributs* ». Étant donné les interrelations entre les éléments de la maquette, il deviendrait aussi difficile de reconnaître et de maîtriser l'impact de certains changements spécifiques sur les éléments validés au préalable. Cette constatation est le fruit de plusieurs citations ci-bas qui soulignent la difficulté de s'assurer que le modèle ne soit pas altéré. Par exemple, l'un des participants dans la quatrième citation explique que la maquette « *pourrait ne pas pointer sur la bonne chose, quelqu'un pourrait l'imprimer et partir avec ça. Je ne veux pas que mon sceau soit associé à ça* ». Afin d'expliquer cette idée, l'un des participants dans la sixième citation nous donne l'exemple d'un document Word qui contient des commentaires et des ratures. Le fait de signer le document numérique, où subsistent des commentaires et des ratures, rend la décision de signer plus difficile que de signer le même document imprimé sans commentaires ni ratures. Le principe est similaire au moment de signer une maquette 3D, selon lui. Appréhender l'entièreté du contenu du modèle 3D, avec tous ses paramètres et attributs, afin de le valider et de s'en porter garant, soulève des hésitations qui existent beaucoup moins en 2D.

Pour contourner cette difficulté, l'entreprise examinée a opté pour l'utilisation d'un format PDF 3D où la signature est uniquement applicable à certaines vues figées spécifiques, alors que le modèle 3D dans son ensemble est destiné à des fins de visualisation de l'entièreté de la maquette. En effet, la huitième citation en témoigne lorsque le participant explique qu'« *on a gardé seulement ce qui était visible et d'avoir bloqué les vues, etc., on réduit la quantité d'information qui peut porter à confusion ou qui pourrait être, pas litigieuse, mais manipulable* » en faisant référence au PDF 3D.

Par ailleurs, la notion de confiance envers le modeleur semble être une façon de remédier au manque de confiance envers le modèle. En effet, selon les répondants, l'ingénieur qui prend la responsabilité de signer le modèle 3D travaille typiquement en binôme avec un modeleur qui

prépare la maquette. Nous avons basé ce constat en partie sur la septième citation qui explique que la validation d'un modèle 3D « *demande un lien entre le technicien puis l'ingénieur assez fort* ». Ainsi, à défaut d'avoir la certitude de valider eux-mêmes tous les détails du modèle 3D, la citation explique que certains ingénieurs signataires font confiance, ou non, à leur modeleur pour valider les détails qu'ils ne peuvent pas valider eux-mêmes (*Voir Annexe VI, Tableau- A VI-3.12*).

3.3.2 Implication dans la préparation de la maquette

Il est important de souligner que, selon quatre participants, l'enjeu précédent pourrait être expliqué par un manque d'implication de la part de l'ingénieur dans la phase de préparation de la maquette. En effet, la première citation exprime clairement qu'« *il faut que tu aies un ingénieur qui soit capable d'aller dans la maquette, de trouver l'information qu'il a besoin puis de la comprendre puis pouvoir valider notre maquette* ». Ainsi, le fait que l'ingénieur ne maîtrise pas l'entièreté de la maquette pourrait être en partie causé, selon eux, par une implication insuffisante de l'ingénieur signataire lors de la création et la définition de la maquette. Cette implication limitée dans la préparation de la maquette pourrait être attribuable à la réticence à signer et à engager sa responsabilité. En effet, la cinquième citation explique qu'un ingénieur doit être en mesure de comprendre la maquette pour la signer. Certains participants expliquent qu'à l'inverse, les ingénieurs très impliqués dans la préparation de la maquette seraient plus confortables à la signer puisqu'ils auraient l'impression d'en connaître et d'en maîtriser la totalité des éléments. En effet, cette constatation est appuyée par la septième citation, où le participant explique que « *la porte vers le succès pour ça, ce serait qu'un concepteur comprenne exactement ce qui se passe et qu'il prenne le temps de rentrer* ». Toutefois, actuellement dans l'entreprise très peu d'ingénieurs sont impliqués de cette manière. Effectivement, la quatrième citation confirme qu'il est très rare de voir des ingénieurs qui sont en mesure d'être modeleur aussi. Finalement, la troisième citation explique que les ingénieurs veulent parfois seulement voir le dessin et ne s'intéressent tout simplement pas à la maquette.

Tableau 3.13 Extraits tirés des verbatims sur l'implication dans la préparation de la maquette

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
1-	Participant 6 : « <i>Fait que là, à ce moment-là, il faut que tu aies un ingénieur qui soit capable d'aller dans la maquette, de trouver l'information qu'il a besoin puis de la comprendre puis pouvoir valider notre maquette.</i> »	Le participant explique que la situation où l'ingénieur ne maîtrise pas l'entièreté de la maquette pourrait être en partie causée, selon eux, par une implication insuffisante de l'ingénieur signataire lors de la création et la définition de la maquette.
2-	Participant 2 : « <i>mais souvent ça revient au technicien de faire cette manipulation et souvent l'ingénieur est plus intéressé par le dessin qui va sortir à la fin de tout ce cycle de modélisation 3D.</i> »	On comprend que l'ingénieur montre parfois un désintérêt par rapport à la maquette 3D.
3-	Participant 7 : « <i>Dans le pire des cas les ingénieurs veulent juste voir le dessin. La maquette ils s'en foutent un petit peu, même s'ils comprennent qu'il y a du bon là-dedans et que ça va éliminer des confusions ou des interfaces avec d'autres disciplines. Mais ce qu'ils veulent c'est le dessin, parce que c'est ça qu'ils vont signer à la fin et c'est ça qui va représenter leur concept.</i> »	Lorsque les ingénieurs veulent seulement voir le dessin et ne s'intéressent pas à la maquette cela à un effet négatif sur l'utilisation de la maquette 3D.
4-	Participant 2 : « <i>Les ingénieurs qui font la modélisation eux-mêmes, sans passer par un technicien. Ça, c'est très rare.</i> »	Le participant explique qu'il est très rare de voir des ingénieurs qui sont en mesure d'être concepteurs aussi.
5-	Participant 6 : « <i>Fait que là, à ce moment-là, il faut que tu aies un ingénieur qui soit capable d'aller dans la maquette, de trouver l'information qu'il a besoin puis de la comprendre puis pouvoir valider notre maquette.</i> »	Le participant explique qu'un ingénieur doit être en mesure de naviguer et comprendre la maquette.
6-	Participant 5 : « <i>Quand le technicien, le modeleur, l'ingénieur qui a modélisé en 3D, quand il a fait la modélisation, il s'est créé des paramètres. C'est une relation en symbiose, une maquette, entre un modeleur puis un ingénieur, un concepteur. Les deux peuvent être un ingénieur. Tu peux avoir un ingénieur 3D puis un ingénieur</i>	Selon le participant, plus les ingénieurs ont une bonne relation de confiance avec leur modeleur, plus ils se sentent à l'aise avec l'information dans la maquette.

	<i>concepteur, de discipline, qui font un travail en symbiose. Ce qui arrive, c'est qu'ils se Extraits tirés des verbatims</i>	Commentaires associés
	<i>communiquent de l'information. Le gars qui a le fardeau initial, c'est le gars qui va compléter la maquette, qui va créer la maquette. Lorsqu'il va créer la maquette, entre les deux, il faut qu'il y ait une confiance parce que lui il reçoit de l'information de son concepteur et, lui, il crée des éléments, il crée des maquettes et après ça il sort un produit final. »</i>	
7-	Participant 5 : « <i>La porte vers le succès pour ça, ce serait qu'un concepteur comprenne exactement ce qui se passe et qu'il prenne le temps de rentrer. Après ça, moi personnellement si j'étais concepteur, je rentrerais dans ma maquette, je connais ma maquette, donc je n'aurais plus de réticences à ne pas signer cela. »</i>	Le participant explique que l'implication de l'ingénieur dans la conception de la maquette pourrait être un facteur de succès en lien avec la signature de la maquette 3D.

3.3.3 Convention de représentation

En analysant les données récoltées, nous avons aussi été en mesure de regrouper plusieurs citations en lien avec la notion de convention de représentation. Suivant nos entretiens, la difficulté de représentation 3D a été un thème abordé par cinq participants sur six. Les ingénieurs expliquent qu'en 2D, il existe une standardisation de représentation qui est difficile à reproduire dans un environnement 3D. En effet, la première citation en témoigne puisqu'elle explique que « *le standard de représentation qui est complètement différent* » en parlant du 3D par rapport au 2D. Selon les participants, la notion de convention qui permet d'expliquer et d'illustrer de manière structurée et explicite les normes régissant la maquette n'est pas standardisée. Effectivement, dans la deuxième citation, on explique que les conventions de représentation ne sont pas « *généralement acceptées* ». Par exemple, la troisième citation nous explique que la représentation de forces dans une maquette doit être compréhensible par les utilisateurs, mais dans le cas de l'entreprise en question, cela était si difficile qu'ils ont préféré joindre un fichier Excel qui allait récupérer l'information de la maquette pour fournir un tableau des forces, des moments, etc. Cela dit, il semblerait que l'absence ou la difficulté d'établir une convention de représentation crée des difficultés en lien avec la signature de la maquette 3D. En se référant à la première citation, les termes utilisés pour décrire le constat

précédent étaient : « *Ça, c'est la première chose, je crois, qui retient beaucoup de monde à aller* ». Ainsi, le fait d'être « *retenus* » nous fait comprendre qu'il semble y avoir de la réticence.

Tableau 3.14 Extraits tirés des verbatims sur les conventions de représentation

	Extraits tirés des verbatims	Commentaires associés
1-	Participant 4 : « <i>Premièrement, le standard de représentation qui est complètement différent. Dans le mode 2D, on est habitués à certains standards, en 3D on ne peut pas avoir exactement les mêmes standards. C'est certain qu'il y a une résistance au changement d'après moi naturelle. Ça, c'est la première chose, je crois, qui retient beaucoup de monde à aller.</i> »	Le participant explique qu'en 2D, il existe une standardisation de représentation qui est difficile à reproduire dans un environnement 3D. En effet, il explique que « <i>le standard de représentation qui est complètement différent</i> » en parlant du 3D par rapport au 2D.
2-	Participant 3 : « <i>L'autre élément qui perturbera, c'est que les normes de représentation qui sont parfaitement codifiées dans le cas du 2D, nous on les a codifiées au niveau du 3D, mais elles ne sont pas encore généralement acceptées par toute l'industrie. Nous, on a une grille, ça veut dire du roc. Mais il n'y a aucune norme de représentation.</i> »	La notion de convention qui permet d'expliquer et d'illustrer de manière structurée et explicite les normes régissant la maquette n'est pas normalisée selon le répondant. On explique que les normes de représentation ne sont pas « <i>généralement acceptées</i> ».
3-	Participant 6 : « <i>Il y a des moments, il y a des forces, il faut qu'il soit capable de voir tout ça dans la maquette. Fait que ça nous a demandé de travailler un peu plus fort pour être capables d'avoir une méthode pour lui donner cette information-là.</i> »	La représentation de forces dans une maquette doit être compréhensible par les utilisateurs, mais dans le cas de l'entreprise, cette représentation était si difficile qu'ils ont préféré joindre un fichier Excel qui allait chercher l'information de la maquette pour fournir un tableau des forces, des moments, etc.

3.3.4 Interprétations multiples

Nous avons pu regrouper plusieurs interventions se rapportant aux différentes interprétations d'une même information par deux participants. En effet, selon les répondants, l'une des raisons pour laquelle la signature d'une maquette 3D devient difficile provient de la possibilité qu'une information puisse être interprétée de plusieurs manières selon la personne qui lit l'information. En effet, la deuxième citation utilise les termes « *portaient à confusion* » et «

Ça pouvait amener à de la confusion » pour discuter de l'information contenue dans le modèle. Certains participants expliquent qu'une mauvaise compréhension d'une information peut amener à une mauvaise utilisation de celle-ci et relever de la responsabilité professionnelle du signataire. Nous interprétons donc la deuxième citation de cette manière puisque le participant explique que « *quelqu'un pourrait l'imprimer et partir avec ça. Je ne veux pas que mon sceau soit associé à ça* ». On comprend donc qu'un travail non conforme pourrait s'effectuer sous la responsabilité légale, « *le sceau* », de l'ingénieur. Par exemple, dans la deuxième citation, il est expliqué que certaines annotations peuvent ne pas être directement liées à la géométrie et porter à confusion si elles ne sont pas alignées de façon optimale et que l'on extrait et imprime la vue de cette manière. Comme mentionné plus haut, la solution préconisée par l'entreprise, soit d'associer une vue spécifique à la signature pour éliminer une partie de la perte de contrôle, avait aussi pour objectif de réduire les erreurs d'interprétation possibles. Pour ce faire, grâce à la première citation, on comprend que l'entreprise réduit la quantité d'information qui peut porter à confusion ou qui pourrait être manipulable afin d'encadrer davantage le processus de validation et se rapprocher du domaine 2D.

Tableau 3.15 Extraits tirés des verbatims sur les interprétations multiples

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
1-	Participant 7 : « <i>À ce moment-là en ayant un document comme ça dans lequel on a gardé seulement ce qui était visible et d'avoir bloqué les vues, etc., on réduit la quantité d'information qui peut porter à confusion ou qui pourrait être, pas litigieuse, mais manipulable, etc.</i> »	Le participant explique que l'entreprise réduit la quantité d'information qui peut porter à confusion ou qui pourrait être manipulable afin d'encadrer davantage le processus de validation et se rapprocher du domaine 2D.
2-	Participant 7 : « <i>Sauf que tout dépendant comment le modèle est construit, tu peux avoir des annotations qui ne sont pas nécessairement liées à la géométrie, mais qui sont sur des plans, etc., fait qu'en faisant la rotation tu peux avoir des annotations qui portaient à confusion, qui n'étaient pas alignées de façon optimale et quelqu'un aurait pu disons imprimer ça. Ça pouvait amener à de la confusion. L'ingénieur n'aimait pas ça parce qu'il dit : la ligne, la cote qui identifie telle affaire, si je tourne mon modèle, elle pourrait ne pas pointer sur la bonne chose, quelqu'un pourrait l'imprimer et partir avec ça. Je ne veux pas que mon sceau soit associé à ça.</i> »	Le participant utilise les termes « <i>portaient à confusion</i> » et « <i>Ça pouvait amener à de la confusion</i> » pour discuter de l'information contenue dans le modèle. Cela nous laisse croire que l'une des raisons pour lesquelles la signature d'une maquette 3D devient ambiguë provient de la possibilité qu'une information puisse être interprétée de plusieurs manières selon la personne qui lit l'information.
3-	Participant 4 : « <i>L'ingénieur qui ne se sent pas confortable avec l'outil, qui dit : bon, ça pourrait être mal interprété s'il est mal utilisé, bien là il a une responsabilité professionnelle personnelle en disant : je ne veux pas aller signer quelque chose si c'est mal utilisé.</i> »	On comprend qu'il y a un malaise de la part de l'ingénieur lorsqu'il a l'impression que la maquette est <i>mal utilisée</i> . Ces termes font référence ici à la mauvaise interprétation que l'on peut en faire et aux décisions qui sont prises par la suite à différents niveaux.

3.3.5 Finalité du document

Un autre aspect particulièrement intéressant exprimé par cinq des répondants sur six fait référence à la nature de la mission à laquelle la maquette est destinée. En effet, il semblerait que l'utilisation du 3D semble créer des enjeux différents en fonction de l'étape d'un projet.

Par exemple, dans la première citation, l'intervenant nous explique que la maquette signée fut grandement utilisée pour les appels d'offres, mais que si l'on associe la signature à la mission de construction, une plus grande résistance est perçue. Dans la première citation, on explique que cette réticence semble être causée par les types de responsabilités commerciales ou juridiques qui sont en cause. Effectivement, dans la deuxième citation, il est dit qu'en mission pour appels d'offres, le risque est moins important puisqu'il n'est pas commercial. S'il y a présence d'une mauvaise information, l'estimation des coûts sera basée sur cela et il y a possibilité de réaliser une réclamation. Pour la construction, la responsabilité juridique est impliquée et les erreurs ont un effet direct et véritable. En effet, la cinquième citation explique que « *tu ne peux pas faire grand-chose avec ça* » en parlant d'une maquette pour appels d'offres. La quatrième citation explique aussi que « *Tu as beaucoup moins de réticences dans le cas du 2D* », en parlant des dessins 2D.

Tableau 3.16 Extraits tirés des verbatims sur la finalité du document

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
1-	Participant 3 : « <i>Une mission pour appels d'offres, il y a un risque, mais pas un risque légal, un risque commercial, c'est-à-dire que l'entrepreneur, si tu envoies une mauvaise information, il va faire son prix basé sur une mauvaise information, à ce moment-là il risque de faire une réclamation en disant : tu ne m'as pas donné l'information, donc je te demande plus d'argent. Par contre, quand tu fais une mission pour construction, là tu es dans le monde réel et puis là tu as ta responsabilité, il est légal, tu construis quelque chose, donc à ce moment-là tu engages ta responsabilité.</i> »	Il semblerait que l'utilisation du 3D semble créer des enjeux différents en fonction de l'étape d'un projet entre la mission pour appels d'offres et une mission pour construction. La plus grande réticence semble être causée par les types de responsabilités commerciales ou juridiques qui sont en cause.
2-	Participant 3 : « <i>Les missions pour construction, là tu engages ta responsabilité. Les missions pour appel d'offres, c'est une responsabilité seulement commerciale.</i> »	Le participant explique qu'en mission pour appels d'offres, le risque est moins important puisqu'il n'est pas commercial.
3-	Participant 2 : « <i>Nous on a fait des appels d'offres pour un pont roulant pour la fabrication et ça a bien été avec un PDF signé/scellé puis on est allés en construction pour le bétonnage d'un ouvrage pour une centrale avec du PDF 3D.</i> »	Il est dit qu'un projet au complet en format 3D n'a pas encore été réalisé jusqu'au bout incluant la mission pour appels d'offres ainsi que la mission pour construction.

	Extraits tirés des verbatims	Commentaires associés
	<i>C'est le début, mais de là jusqu'à ce qu'on aille avec un projet au complet en format 3D, le chemin est long. »</i>	
4-	Participant 4 : « <i>L'ingénieur, lui, ce qu'il signe, c'est un concept. C'est un avancement, ce n'est pas une conception finale, c'est-à-dire que le produit final, ce qui est construit, n'est pas le document qu'il a signé en 3D qui le représente, c'est vraiment les dessins du fournisseur, du concepteur qui peut être une firme ou un entrepreneur. Dans ce cas-là, c'est même parfait parce que tu pars sur un concept d'un entrepreneur et ce ne sont pas des dessins qui sont émis pour construction, ils sont émis pour conception finale, je parle des dessins 3D. Tu as beaucoup moins de réticences dans ce cas-là. »</i>	La citation explique aussi que « <i>Tu as beaucoup moins de réticences dans ce cas-là</i> », en parlant des dessins 2D.
5-	Participant 4 : « <i>C'est-à-dire que tu montres l'ensemble de la construction, du site, etc., mais il n'y a pas de détails de construction. Ça, on n'a pas eu de problème à les faire signer parce que dans le fond, tu ne peux pas faire grand-chose avec ça. C'est juste un agencement, tu n'as pas de codes vraiment. »</i>	Pour la construction, la responsabilité juridique est impliquée et les erreurs ont un effet direct et véritable. La cinquième citation explique que « <i>tu ne peux pas faire grand-chose avec ça</i> » en parlant d'une maquette pour appels d'offres.

3.3.6 Modèle théorique par rapport à la réalité terrain

Toujours dans le même ordre d'idée, il semblerait que la différence entre le modèle théorique et la réalité terrain (en chantier) cause certaines difficultés qui pourraient nuire à l'intention de signer la maquette 3D chez les participants. Selon les dires de deux professionnels, une fois rendue sur le chantier, la maquette peut continuer à évoluer. En effet, la première citation nous explique bien ce constat : « *tu essaies de prévoir quelque chose dans ta conception, mais qui est basée sur quelque chose de théorique donc qui ne sera peut-être pas vraiment le cas* ». Cependant, la conception de la maquette 3D oblige les concepteurs à documenter toutes prévisions de manière théorique, ce qui auparavant en 2D pouvait rester dans une zone grise et être interprété sur le chantier directement. En effet, la deuxième citation le dit bien, « *il n'y a pas de zones grises* » dans le 3D et, comme cela est mentionné dans la troisième citation « *C'est des affaires qu'avant ça je ne dessinais pas* » dans le 2D. Ainsi, comme l'exprime la quatrième citation, puisqu' « *elle peut évoluer encore* », ceci apporte alors dans certains cas toute une

série de demandes de modifications techniques (DMT), de questions-réponses techniques (QRT) ou de non-conformité (NC) demandant une négociation entre l'entrepreneur et l'ingénieur, pouvant parfois prendre beaucoup d'énergie pour peu de résultats.

Tableau 3.17 Extraits tirés des verbatims sur le modèle théorique par rapport à la réalité terrain

	Extraits tirés des verbatims	Commentaires associés
1-	Participant 4 : « <i>En gros nous on essaie de prévoir des cas, puis s'il y a des cas qui ne sont pas prévus, bien ce sera au chantier de faire un modèle 3D. Mais ça, c'est vraiment spécifique à cette discipline-là. Là, tu n'as pas le choix de tout prévoir. Mais malheureusement, tu ne peux pas tout prévoir parce que tu es sur des modèles encore théoriques. Donc, ce que ça crée aussi, ça crée un certain inconfort, même d'avoir un modèle 3D, parce que dans le fond tu essaies de prévoir quelque chose dans ta conception, mais qui est basé sur quelque chose de théorique donc qui ne sera peut-être pas vraiment le cas.</i> »	La citation explique bien que: « <i>tu essaies de prévoir quelque chose dans ta conception, mais qui est basée sur quelque chose de théorique donc qui ne sera peut-être pas vraiment le cas</i> ». Ainsi, une fois rendue sur le chantier, la maquette peut continuer à évoluer. Cela pourrait causer certaines difficultés qui pourraient nuire à l'intention de signer la maquette 3D chez les participants.
2-	Participant 2 : « <i>L'affaire, c'est que dans un modèle 3D, il n'y a pas de zones grises. Le modèle 3D, ça doit représenter...</i> »	Selon le participant, la conception de la maquette 3D oblige les concepteurs à documenter toutes prévisions de manière théorique, ce qui auparavant en 2D pouvait rester dans une zone grise et être interprété sur le chantier directement.
3-	Participant 4 : « <i>Mais l'infinité de vues qu'il y a entre mes vues qui sont vraiment comme en infini, bien c'est ça l'inconfort. C'est des affaires qu'avant ça je ne dessinais pas. Donc, c'est encore plus vrai dans le cas de géotechnique. Mettons un barrage. Un barrage, à telle place, ça va ressembler à ça. À telle place, ça va ressembler à ça. Mais entre ta coupe A puis B, ça va être comment la transition exactement. Puis, c'est ça qui crée un inconfort. Qu'est-ce qu'il y a entre ces deux-là? Le technicien représente quelque chose, mais à la fois c'est bien puis ce n'est pas bien dans le sens que ce qu'on a</i> »	Comme il est mentionné dans la troisième citation « <i>C'est des affaires qu'avant ça je ne dessinais pas</i> » dans le 2D. On fait le lien avec la deuxième citation par rapport aux zones grises dans le 2D qui ne peuvent plus être contournées dans le 3D.

	Extraits tirés des verbatims	Commentaires associés
	<i>souvent vécu, puis là on parle de signature, mais, même à la création du modèle même, ça nous fait poser beaucoup de questions. »</i>	
4-	Participant 2 : « <i>C'est la maquette d'ingénierie qui a été signée/scellée pour la phase d'ingénierie. Mais une fois rendue en chantier, elle peut évoluer encore. Et puis, il y a toute une série de DMT de demandes de modifications techniques ou des QRT qui est questions-réponses techniques ou de non-conformité NC, qu'il met, juste pour s'assurer que le concept va évoluer selon ses recommandations et pour se couvrir pour tout ce qui peut apparaître. Là, il faut amender le contenu 3D qui sort de l'ingénierie avec toutes ces affaires qu'il a proposées : les DMT, les QRT et les NC [Oui] et c'est une négociation entre l'entrepreneur et l'ingénieur qui a signé/scellé la maquette parce que ce n'est pas n'importe qui qui peut modifier la maquette. »</i>	Comme l'indique le participant, puisqu'« <i>elle peut évoluer encore</i> », ceci apporte alors dans certains cas toute une série de DMT, QRT ou NC demandant une négociation entre l'entrepreneur et l'ingénieur, pouvant parfois prendre beaucoup d'énergie pour peu de résultats.

3.3.7 Non-altérabilité de la maquette 3D

Une dernière catégorisation des éléments apportés par deux participants faisait référence à la non-altérabilité de la maquette. En effet, en se référant à la deuxième citation, il est dit que les seules exigences de l'OIQ en termes de signature sont l'apposition d'une signature (sceau/estampe) et que le document ne soit pas altérable. Cela étant dit, il semblerait que le passage du mode 2D vers le mode 3D apporterait une difficulté supplémentaire pour prouver que la donnée n'a pas été altérée. Effectivement, la quatrième citation explique que « *quand tu fais une conversion, une impression, il y a des choses qui peuvent changer* » et la cinquième et sixième citation explique que « *j'ai un risque de distorsion...* ». Les ingénieurs vivent alors un certain inconfort à signer la maquette par peur de modification, d'altération ou de distorsion de l'information contenue dans le modèle qui relève de leur responsabilité. La troisième citation en témoigne, puisqu'il est dit que « *Les ingénieurs veulent s'assurer que personne ne sera capable de modifier sa patente* ». Par exemple, la septième citation explique qu'avec

l'utilisation du logiciel CATIA, il y a une police d'écriture qui est semblable, mais non identique à celle en format natif des fichiers de dessins AutoCAD (DWG). Ainsi, en changeant d'un format à un autre, il y a un risque de dégradation des données lors des transferts.

Tableau 3.18 Extraits tirés des verbatims sur la non-altérabilité de la maquette 3D

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
1-	<p>Participant 7 : « <i>Le document papier, il y en a de moins en moins, mais c'était le sceau, la signature de l'ingénieur, tout ça, mais ça pouvait quand même être difficile de savoir si c'était l'original, surtout aujourd'hui avec toutes les technologies qui permettent de faire des photocopies. Tandis qu'avec un modèle numérique je te dirais que c'est plus facile d'établir si c'est un original ou pas. Sauf que tu peux copier un original, chose que tu ne pouvais pas faire avant en papier parce que dès que tu faisais une copie tu étais sûr que ce n'était plus l'original, tandis qu'un modèle 3D ou un modèle 2D signé-scellé tu peux faire des copies puis conserver l'attribut original parce que le contenu permet justement de savoir s'il a été lui-même altéré ou pas. Tandis qu'une feuille de papier, ça n'a pas ces capacités.</i> »</p>	Il est dit qu'afin de satisfaire aux exigences de l'OIQ en termes de signature 3D, les seules exigences sont l'apposition d'une signature (sceau/estampe) et que le document ne soit pas altérable.
2-	<p>Participant 7 : « <i>Tout ce qu'ils veulent c'est avoir le certificat et l'estampe avec la signature de l'ingénieur sur ton document. À partir du moment où tu as ça et que tu es capable de montrer que le document tu ne peux pas l'altérer... l'ingénieur qui va le donner est aussi responsable du contenu que du contenu. Quand c'est du CATIA c'est tellement large tout ce que tu peux faire, que c'est sûr que ton contenu est tellement malléable que c'est difficile de livrer ça signé-scellé.</i> »</p>	Le participant fait référence à l'OIQ lorsqu'il mentionne que tout ce qu' <i>«ils veulent c'est avoir le certificat et l'estampe avec la signature de l'ingénieur sur ton document[...] et que tu es capable de montrer que le document tu ne peux pas l'altérer»</i> . Cette demande semble difficile à satisfaire avec une maquette 3D selon le participant.
3-	<p>Participant 3 : « <i>C'est l'autre fois que je t'en avais parlé. Il y a déjà un inconfort par rapport au format électronique. Les ingénieurs veulent s'assurer que personne ne sera capable de modifier sa patente une fois qu'il aura apposé son sceau ou qu'il l'aura signé.</i> »</p>	Les ingénieurs vivent alors un certain inconfort à signer la maquette par peur de modification, d'altération ou de distorsion de l'information contenue dans le modèle qui relève de leur responsabilité.

	Extraits tirés des verbatims	Commentaires associés
4-	Participant 3 : « <i>La machine a changé ma patente. Parce que la géométrie 3D, je n'en ai qu'une. Mais le fait que c'est ça affecte mon dessin. Donc, tu n'as pas d'autre choix que de revérifier tout. L'autre élément au niveau de ta signature, c'est que dépendamment de ce que tu signes, tu sais en 2D, les dessins ils se font en AutoCad. Donc, c'est des points .DWG. Avec ça, soit ils font une impression, soit ils font un PDF. Puis ils vont signer soit électroniquement soit avec n'importe quoi, avec son sceau. Quand tu fais une conversion, une impression, il y a des choses qui peuvent changer. Dans ce processus-ci, tu sais, quand tu regardes ton document sur ton Windows, ça ne donne pas forcément le même.</i> »	Cela étant dit, il semblerait que le passage du mode 2D vers le mode 3D apporterait une difficulté supplémentaire pour prouver que la donnée n'a pas été altérée. En effet, le participant explique que « <i>quand tu fais une conversion, une impression, il y a des choses qui peuvent changer</i> ».
5-	Participant 3 : « <i>Maintenant, en 3D, ce n'est pas la même chose. Quand tu fais une conversion de format, donc là je suis en quatre étoiles comme on dit, puis je mets ça dans n'importe quel autre fichier, j'ai un risque de distorsion...</i> »	Le participant explique que « <i>j'ai un risque de distorsion...</i> ».
6-	Participant 3 : « <i>Mais, en ce moment il n'y a pas grand-chose qu'on n'est pas capable de modifier. Même un PDF, ainsi de suite. Dans ton processus de conversion, tu perds de l'information. Donc, tu as un risque de distorsion, c'est tout.</i> »	Le participant explique qu'il peut y avoir une perte d'information dans le processus de conversion.
7-	Participant 3 : « <i>Dans CATIA, on a une police qui est proche, mais ce n'est pas exactement celle qui est dans .DWG</i> »	Le participant explique qu'avec l'utilisation du logiciel CATIA, il y a une police d'écriture qui est semblable, mais non identique à celle en DWG. Ainsi, en passant d'un format à un autre, il y a un risque de dégradation des données lors des transferts.

3.4 Synthèse de la troisième phase d'entrevues

À la suite de l'analyse des données, il a été alors possible de regrouper les principales idées en sept grandes catégories décrivant cette réticence à signer une maquette 3D et à impliquer sa responsabilité professionnelle et juridique. Ainsi, il est possible de comprendre d'un autre œil les enjeux de responsabilité par l'entremise des discours des répondants. Il a été possible de

constater que l'ensemble des répondants comprennent ou vivent cette difficulté en lien avec la signature de la maquette numérique. On observe aussi que le fait d'appréhender l'entièreté du contenu à signer est impacté par de nombreux aspects de la technologie et de l'humain. Ainsi, l'ensemble des composantes décrites ci-haut démontrent une interdépendance.

3.5 Synthèse globale des phases d'entrevues

Globalement, en regroupant les idées émises dans l'ensemble des phases d'entrevues, il est possible de faire plusieurs constats. Premièrement, il est clair qu'un inconfort face à la signature de la maquette numérique 3D est vécu ou perçu par les participants. En effet, chacun d'eux est en mesure d'expliquer une certaine réticence face à la signature de la maquette numérique 3D, mais le degré d'acceptance varie pour chacun. Deuxièmement, malgré les questionnements approfondis sur les enjeux de responsabilités dans les projets impliquant la maquette 3D, aucun participant ne semble avoir vécu une situation optimale. Aucun projet décrit par les participants impliquant la signature d'une maquette 3D n'a évité les questionnements ou l'inconfort. Troisièmement, dans le monde de la construction le modèle 3D initial ne représente pas l'état final d'une construction tel que construit (TQC), ce qui pourrait suggérer que le contexte du milieu de la construction est particulier et que sa culture a un impact sur les enjeux vécus. À la suite de l'analyse des données, il devient alors possible de croire que les maquettes numériques n'ont pas nécessairement été prévues pour en faciliter la signature dans le milieu de la construction.

CHAPITRE 4

DISCUSSION

Dans ce dernier chapitre, nous reprendrons les résultats présentés dans le chapitre précédent pour engager une discussion par rapport aux différents enjeux décrits dans la troisième phase d'entrevues. Pour ce faire, nous entamerons la discussion en établissant le lien entre les enjeux vécus en construction, par rapport à la maquette 3D, et le milieu de l'aéronautique. Étant donné l'objectif de comparaison étant de susciter la discussion avec le milieu de l'aéronautique sans pour autant faire une collecte de données exhaustives, nous avons fait le choix de l'inclure dans la section discussion. Pour continuer, nous établirons des liens entre les catégories d'enjeux cernés et la littérature. Nous finirons par déterminer les limites de la recherche et des pistes futures de recherche.

Avant de lancer la discussion sur les résultats obtenus, il importe de relever à nouveau certaines considérations méthodologiques directement liées à la teneur et aux visées de cette étude. Effectivement, la présente étude s'inscrit dans un projet de recherche exploratoire qui utilise les entretiens individuels en profondeur comme méthode de collecte de données. En ce sens, nous avons choisi d'entamer une discussion des résultats qui met en lumière les perceptions des différents milieux et intervenants choisis en décrivant les parallèles entre les résultats et les concepts théoriques existants.

4.1 Parallèles entre le milieu de l'aéronautique et celui de la construction

Dans l'industrie de l'aéronautique, contrairement à l'industrie de la construction, on construit des machines dont la réalité ne dépend que de la définition de la machine en soi. Il semblerait qu'aux yeux des participants, suivant les discussions avec le milieu de l'aéronautique, qu'il y ait moins de problématiques en termes de responsabilité vu l'environnement contrôlé. Il nous a semblé intéressant d'aller explorer la perception du monde de l'aéronautique pour examiner les similitudes ou différences potentielles entre ces deux industries. Ainsi, nous avons mené deux discussions avec des acteurs importants du monde de l'aéronautique ayant une vaste expérience des projets utilisant la maquette 3D. Le but des discussions était de vérifier si les

constats réalisés grâce à la 3^{ème} phase d'entrevues semblaient étrangers ou familiers au monde de l'aéronautique. Comme nous l'avons mentionné dans la revue de littérature, l'utilisation de la maquette 3D faisait partie de leur pratique, mais avec l'approche PLM. Cette comparaison a pu être réalisée étant donné que les deux approches, BIM et PLM, sont très similaires et que de nombreux chercheurs ont examiné le PLM pour répondre à des questions liées au BIM (Jupp, J. R., & Singh, V., 2014).

Pour entamer la discussion avec le milieu de l'aéronautique, établissons les prémisses de départ avancées tout au long des entrevues avec les participants du milieu de la construction. Premièrement, nous présumions que l'aéronautique était plus avancée en termes de maquette 3D et de signature de maquettes numériques que la construction. Ainsi, nous avions aussi l'impression que les enjeux par rapport à la signature d'une maquette 3D en construction ne seraient pas les mêmes qu'en aéronautique. Cependant, nous avons été surpris de constater que, contrairement aux présomptions des participants du milieu de la construction, la maquette 3D en aéronautique, dans les deux entreprises de calibre mondial possédant plusieurs dizaines d'années d'expérience avec la maquette 3D, n'était pas du tout plus avancée qu'en construction. L'inverse était plutôt vrai. En effet, dans le milieu de l'aéronautique, qui relève du fédéral plutôt que du provincial comme le milieu de la construction, les participants nous ont expliqué que la maquette 3D n'est pas encore pleinement approuvée. Elle est plutôt utilisée à des fins de design et d'outil de référence seulement. La validation de la maquette se fait sur des modèles unitaires, des installations ou bien un ensemble de documents requis par Transport Canada.

Le second aspect intéressant est la constatation que, contrairement à la croyance des participants du milieu de la construction, le milieu de l'aéronautique souscrit à la majorité des différentes catégories d'enjeux décrits lors de la troisième phase d'entrevues.

4.2 Perception par le milieu aéronautique des enjeux de responsabilité relevés en construction

Dans les paragraphes qui suivent, nous exposons les similarités et différences qui ont été décrites par les intervenants de l'aéronautique avec lesquels nous avons eu la chance de discuter. Il est à noter que, dans cette section, nous interprétons davantage les résultats.

4.2.1 Appréhender l'entièreté du contenu de la maquette

Pour commencer, il a été possible de faire le constat que le sentiment de manque de contrôle et d'incertitude, par rapport à l'ensemble de l'information contenue dans la maquette numérique 3D à valider, a été relevé dans les deux conversations avec les représentants de l'aéronautique. En effet, les deux répondants ont expliqué cette difficulté par la limite cognitive à s'assurer d'avoir identifié tous les changements et à en reconnaître tous les impacts. Actuellement, selon eux, il n'existe aucun moyen de comprendre et d'apprécier adéquatement l'entièreté de ce qui est présent dans la maquette. Selon les membres de l'industrie de l'aéronautique, la quantité d'information sur une maquette dépasse ce qu'un humain est capable d'interpréter. Par exemple s'il y a 400 cotes de spécification, comment savoir s'il en manque une? Dans l'une des entreprises, il est mentionné que les patrons signent les vues, apposent leur approbation sur un ensemble de documents, de modèles unitaires ou bien des installations, mais dans aucun cas, ils ne signent une maquette avec toutes les informations incluses à l'intérieur. Les termes utilisés par les intervenants furent similaires à ceux employés en construction. En effet, ceux-ci expliquaient qu'il y avait un « *trop plein d'information qui est présentée* ». De plus, dans le domaine de l'aéronautique, il devient très difficile de gérer les liens entre les composantes et il y a une grande pression de production. Cela dit, s'assurer que tout est vérifié avant d'apposer sa signature rend les signataires inquiets. Par conséquent, l'utilisation de la maquette est limitée. Par exemple, l'un des répondants nous expliquait que les tests de température ne sont pas visibles dans le modèle. Pourtant, cette information est indispensable à sa validation. La maquette 3D ne définit donc pas l'ensemble du produit, c'est pourquoi ils ne sont pas à l'aise de signer la conception finale d'approbation, à l'heure actuelle.

4.2.2 Implication dans la préparation de la maquette

Lorsque nous avons abordé l’enjeu d’implication dans la préparation de la maquette par rapport au milieu de la construction, les intervenants de l’aéronautique nous ont expliqué que cet enjeu semblait moins présent en aéronautique. En effet, étant donné que le modèle 3D n’est pas contractuel, les signataires ne ressentent pas nécessairement le besoin de comprendre adéquatement le modèle pour le signer puisqu’ils ont accès à tous les autres documents demandés par Transport Canada, incluant des plans 2D, pour valider le contenu. De plus, dans le contexte des entreprises en aéronautique, c’est le « *management* » qui doit approuver l’ingénierie. Ainsi, pour les aider à approuver l’entièreté des documents pour une discipline ou un projet donné, ceux-ci font des révisions du projet, qui consiste à présenter l’ensemble des données à différentes phases d’un projet. Bref, l’implication dans la préparation de la maquette semble moins représenter un enjeu dans l’aéronautique, au moins dans certains cas, puisque le modèle constitue seulement une fraction des choses qu’ils doivent approuver.

4.2.3 Convention de représentation

Dans un autre ordre d’idées, en abordant l’enjeu de convention de représentation dans le contexte de la construction avec les membres des entreprises en aéronautique, il a été possible de constater que cet aspect était présent, mais potentiellement moins critique dans l’aéronautique. En effet, aux dires des répondants, les ingénieurs en aéronautique, tout comme ceux en construction, retrouvent les conventions usuelles du 2D dans le 3D. En effet, les répondants nous expliquaient que les membres des organisations qui utilisent les maquettes 3D, cherchent à retrouver ce qu’ils connaissent du 2D dans le 3D. Ainsi, il est possible de constater dans les deux milieux que cet élément est un frein à la maquette numérique, mais que dans le cas de l’aéronautique, l’enjeu est moins critique.

4.2.4 Interprétations multiples

Le quatrième enjeu en lien avec la responsabilité de la maquette 3D décrit aux représentants du milieu de l’aéronautique a été l’enjeu en lien avec le risque d’interprétations multiples de la donnée dans le contexte d’une maquette numérique. À la suite des différents échanges, nous avons compris que cet enjeu est plutôt un élément pris en compte pour l’éventuelle signature 3D. Le fait que le modèle 3D ne soit pas contractuel diminue l’importance de cette réalité dans

le contexte de l'aéronautique puisque les autres documents nécessaires à la signature l'appuient. Actuellement, dans l'une des deux entreprises, la mauvaise interprétation d'une information contenue dans le modèle amène plutôt des questionnements par rapport aux compétences de l'ingénieur concepteur. Un aspect intéressant était de constater que pour réduire la possibilité d'une mauvaise interprétation et d'une mauvaise utilisation de l'information, le fait d'aligner la signature à une vue était pour eux une avenue prometteuse.

4.2.5 Finalité du document

Comme il a été décrit dans le chapitre précédent, la finalité du document semblait être un enjeu dans le domaine de la construction. En effet, le degré d'aisance pour apposer sa signature dans le cadre d'appels d'offres était beaucoup plus grand que dans le cadre de travaux de construction. Dans le cas de l'aéronautique, il a été possible de faire le constat que le niveau de confort par rapport à l'utilisation d'un modèle 3D était plus grand pour le développement de produit que pour la certification. Il semble donc y avoir une similitude marquée entre les deux milieux. Tout comme en construction, la maquette numérique finale pour certification amène une réticence plus grande puisque l'impact sera réel. Dans le cas d'une maquette pour le développement, l'objectif est plutôt d'obtenir une approbation de conception. Ainsi, l'impact est moins grand. Dans le cas d'une maquette finale, on parle aussi d'un enjeu de contrôle puisque le modèle peut évoluer encore beaucoup. Ainsi, signer le modèle à un moment précis, ne veut pas dire que le modèle ne sera pas modifié. En général, les documents finaux sont seulement identiques pour quelques heures, par la suite, des modifications peuvent déjà être apportées.

4.2.6 Modèle théorique par rapport à la réalité terrain

L'avant-dernier enjeu décrit par les participants du milieu de la construction, en lien avec la différence entre le modèle théorique et l'utilisation sur le terrain de la maquette, était un aspect présent aussi dans le domaine de l'aéronautique. Toutefois, cet aspect semble davantage présent en construction. Dans le domaine de l'aéronautique, les témoignages des deux participants indiquent qu'il existerait un enjeu par rapport à ce que les ingénieurs prévoient et les changements dans la production. Ces changements doivent, par la suite, être acheminés jusqu'à l'ingénierie pour en faire modifier les plans ou les maquettes. Ainsi, étant donné les

changements multiples dans le domaine de l'aéronautique, les changements auraient tendance à s'opérer davantage avec les plans 2D pour diminuer les coûts.

4.2.7 Non-altérabilité de la maquette numérique 3D

Finalement, l'enjeu de non-altérabilité de la maquette numérique confrontait aussi les participants provenant du milieu de l'aéronautique. En effet, cette barrière est principalement en lien avec les changements de version des logiciels utilisés ou des changements d'algorithme dans la définition géométrique. Dans les cas où un fournisseur réalise un transfert de dossier, l'entreprise spécifie la version du programme à utiliser pour ne pas causer d'altération. Néanmoins, si cela n'est pas respecté, dans le cas d'un fournisseur, la responsabilité lui revient et l'entreprise s'en décharge. Cet enjeu survient aussi lors de l'utilisation des liens dans une maquette. En effet, selon les dires des participants, les liens sont très difficiles à gérer et ça « *devient un vrai cauchemar* ». Limiter l'utilisation de liens a été un moyen employé pour réduire les difficultés dans le cas de l'aéronautique.

4.3 Interprétation des résultats à la lumière de la littérature

Après la lecture et l'analyse des différents résultats, plusieurs grands constats se forment. Nous en discutons ici en tentant de les comprendre grâce à diverses théories en lien avec le sujet. Nous ferons aussi le lien avec la littérature sur le BIM et le PLM et tenterons de voir si nos résultats s'en rapprochent ou non.

4.3.1 Premier constat : Les similitudes entre les enjeux du milieu de la construction et de l'aéronautique

Pour commencer, l'un des grands constats est que dans l'environnement de la construction comme dans celui de l'aéronautique, le fait de ne pas être en mesure d'appréhender l'ensemble des informations contenues dans une maquette 3D constitue une réelle difficulté aux yeux des participants. Pour le milieu de la construction, la difficulté peut émaner du manque de compréhension et de compétence face à l'utilisation d'une maquette 3D. Dans le milieu de l'aéronautique, on tend plutôt à expliquer ce phénomène par des limites cognitives menant à une incapacité à englober l'ensemble des informations, des liens et de l'impact des

changements contenus dans la maquette. Il est donc possible de croire que dans le milieu de la construction, les participants auraient davantage tendance à croire qu'appréhender l'entièreté de la maquette pourrait être réalisable, à l'inverse des participants du milieu de l'aéronautique. Cette différence nous pousse à nous poser des questions.

Dans l'éventualité où il serait impossible d'appréhender l'entièreté de la maquette 3D à l'aide des outils actuels, comme semblent le supposer les intervenants du milieu aéronautique, cela constituerait une énorme barrière à l'avancement de la signature de la maquette 3D. D'ailleurs, il est possible de voir que, même aujourd'hui, la tendance de l'organisation ciblée en construction est de tenter d'utiliser des pratiques du 2D pour répondre aux enjeux actuels du 3D, par exemple par l'utilisation du PDF 3D pour figer des vues, pour délimiter la zone de responsabilité entre les différentes disciplines, etc. Pourtant, selon le *BIM Manager's Handbook* (2011), afin d'intégrer le BIM, un changement de culture doit être mis de l'avant pour impacter l'organisation dans son ensemble. De plus, l'un des objectifs de base de l'utilisation des logiciels BIM est d'obtenir une base de données intégrée d'informations soutenant une variété de projets ou de tâches tels que la conception, l'analyse de la performance des bâtiments et la coordination des intrants de travail multidisciplinaires. Revenir à faire des vues 2D serait-il un retour en arrière ? L'un des participants de l'étude provenant du domaine de la construction a apporté une idée intéressante à cette question. Il a fait le lien avec les différentes finalités des intervenants dans un projet. D'une part, il explique que le but est de briser les silos pendant que, d'un autre côté, il explique que les parties prenantes ne partagent pas la même finalité. Alors qui est responsable de la conception du bâtiment dans son entièreté ? Nous attendons-nous à ce que quelqu'un soit responsable de l'entièreté de la maquette 3D ? En outre, étant donné le contexte du milieu de la construction -- décrit dans la revue de littérature comme un modèle économique fragmenté, au flux de travail séquentiel qui contraignent l'adoption des nouvelles pratiques BIM (Sackey, 2014) -- le médium utilisé permet-il d'adopter de nouvelles pratiques pour favoriser l'implémentation du BIM ?

La collaboration volontaire ne va pas arriver de sitôt pour partager la responsabilité (Matarneh & Hamed, 2017). Pour continuer, il est intéressant de se référer à la théorie de la structuration

de Giddens's (Markus & Silver, 2008). En effet, la structure sociale, selon lui, n'existe pas sans l'action de l'homme, tout comme le matériel. Ainsi, le changement de médium dans le cas de l'entreprise n'est pas trivial. Ce choix comporte plusieurs avantages et enjeux qui peuvent soutenir ou nuire de manière significative aux utilisateurs. Ce choix doit alors être réfléchi et analysé avec une grande attention. Néanmoins, selon Orlikowski (2000), il est intéressant de se questionner sur la manière de conceptualiser la technologie. En effet, selon la manière dont la technologie est perçue, le processus de prise de décisions varie. L'une de ces manières décrit la technologie comme un matériel brut, de l'équipement, un instrument qui n'est utilisé que pour la production en ignorant l'humain derrière (Orlikowski, 2000). Cette première conceptualisation voit la technologie comme objective, comme une force externe qui a des impacts prédéterminés qui peuvent être contrôlés. Ainsi, cette vision statique de la technologie se rapproche de l'école de pensée "decision-making" qui considère que les effets d'une technologie suivent inévitablement l'introduction de celle-ci (Orlikowski, 2000). En adoptant cette perspective, les parties prenantes ont alors tendance à se sentir impuissantes face à la technologie étant donné qu'elles ne parviennent pas à remettre en question la corrélation entre l'artefact et son interaction avec les agendas humains (Orlikowski, 2000). Cela dit, pour mesurer l'impact de la technologie sur l'humain, il faut adopter une approche holistique pour répondre à un problème complexe. Dans ce cas, le choix a été d'utiliser la technologie BIM. Selon la théorie « *Adaptative Structuration* », un artefact technologique est un ensemble social et technique (Markus & Silver, 2008). Ainsi, cet artefact est mutuellement impacté par la technologie et les processus sociaux qui altèrent son incidence et ses conséquences.

Sachant cela, différentes questions se posent. Quelle est la conceptualisation de la technologie selon le milieu de la construction? Étant donné cette conceptualisation, comment a-t-on procédé au choix final? Sachant que les processus sociaux peuvent impacter la technologie, quelle incidence la perception des acteurs a-t-elle eue sur les enjeux d'implémentation? De plus, tout comme pour le modèle « *Strategic Choice* », il est possible de faire le constat que l'insertion de certaines technologies peut répondre à des jeux politiques, des intérêts économiques, des guerres de pouvoir et même des agendas cachés (Orlikowski, 2000). Ces tentatives d'implémentation se terminent alors souvent par des échecs puisque la technologie

n'est pas appropriée aux utilisateurs et que les utilisateurs ont le sentiment de ne pas en avoir le contrôle (Orlikowski, 2000). Ainsi, cela nous permet de comprendre de quelle manière la technologie peut camoufler différents objectifs, diverses croyances, structures, valeurs, divers pouvoir, etc. Celle-ci peut alors être définie comme le produit des actions humaines (Orlikowski, 2000). Les utilisateurs peuvent avoir du mal à voir les intentions derrière la technologie et à l'inverse la technologie peut être le reflet de leur propre structure sociale ne faisant que renforcer encore plus les problèmes existants.

En somme, il devient alors pertinent de se questionner sur les objectifs derrière l'implémentation de la technologie dans le cadre de cette étude. Les raisons qui ont poussé ce changement sont-elles en corrélation avec les besoins des utilisateurs? En effet, on peut croire que l'entreprise cherchait à répondre à certains besoins en se tournant vers la maquette 3D, mais il n'est pas clair que la maquette 3D ait pu, à ce jour, combler tous ces besoins spécifiques. Ainsi, cela nous amène à nous questionner sur la nature même de ces besoins.

4.3.2 Deuxième constat : Les enjeux d'appréhension en lien avec la capacité de communication d'information via la maquette

Pour poursuivre, le second grand constat réalisé suite à l'analyse des résultats est que les enjeux en lien avec la difficulté d'appréhender l'entièreté du contenu de la maquette 3D relève de près ou de loin de la capacité de communication d'information via la maquette.

En effet, en se basant sur les études de Krippendorff (1993) dans le mémoire de maîtrise de Paul Olivier Joseph (2013), il est possible de faire ressortir six grandes métaphores biaisées et conflictuelles qui créent des problèmes sur la documentation et la communication d'information via logicielle. En les parcourant, il a été possible d'établir des liens entre les enjeux vécus par les participants à l'étude. Par exemple, selon la métaphore du contenant de Krippendorff (1993), « *Le contenu est séparé du véhicule qui le transporte. Les contenant ont la propriété de garder leur contenu intact de l'origine à la destination* ». Ainsi, l'importance du langage est minimisée et l'*« accent est mis sur le contenu qu'il transporte »* (Joseph, 2013). Cela implique que le contenu est perçu comme indépendant du contenant. Le contenant est

seulement vu comme le véhicule d'information (Joseph, 2013). Ainsi recevoir le message est un processus simple qui permet d'apprécier l'information correctement et adéquatement du premier coup. Selon cette définition, il serait possible de faire un parallèle avec plusieurs enjeux décrits par les participants. Par exemple, il est possible de faire le lien avec l'enjeu de distorsion lorsqu'une plateforme BIM telles que Revit, Bentley, ArchiCAD, Tekla et Vectorworks ne permettent pas d'échanger directement l'information et causent parfois des distorsions ou une perte d'information lors des échanges. En effet, malgré le fait que le médium peut aider l'échange d'information multidisciplinaire et faciliter la compréhension de l'entièreté d'une conception, il semble rester des enjeux en lien avec la métaphore du contenant qui ne permet pas de garantir l'exploitabilité du contenu.

Une deuxième métaphore semble aussi intéressante à souligner dans le contexte actuel. Elle fait référence à la métaphore de la transmission. « *Dans cette métaphore, les êtres humains jouent le rôle de récepteurs et d'émetteurs d'information. La fonction du transmetteur est de chiffrer et celle du récepteur est de déchiffrer le message* » (Joseph, 2013). C'est également le cas des humains en interaction avec la maquette numérique, soient les modeleurs, les ingénieurs et autres parties prenantes. Ainsi, le chiffreur doit chiffrer l'information « *dans le format approprié et le récepteur doit le déchiffrer de manière appropriée indépendamment des contraintes* » (Joseph, 2013). Gérer le bruit, dans le cas de la maquette numérique, pourrait faire référence à gérer l'information en contexte, les liens, les orientations, etc. dans lesquels ont été mis et on fait la lecture de l'information dans la maquette. Plus encore, « *elle suggère que les transmetteurs et les récepteurs partagent obligatoirement le même formalisme et que le récepteur effectue un travail inverse à celui du transmetteur* » (Joseph, 2013). Dans le cas de la maquette, on pourrait faire le lien avec les conventions de représentation. En 2D, les participants s'entendent pour dire qu'il semble y avoir peu ou pas de problème. Pourtant en 3D, ce n'est pas le cas. Nous supposons que les entreprises ont adopté certaines métaphores de communication décrites par Klaus Krippendorff (Joseph, 2013).

4.3.3 Troisième constat : Les références au contexte social plutôt qu'à la technologie pour décrire les enjeux

Un troisième constat fait référence au fait que les participants de l'étude ont tendance à pointer du doigt les utilisateurs ou les concepteurs de la maquette 3D sans remettre en question la technologie. En effet, dans le cas du milieu de la construction les participants ont eu des discours tels que :

- *C'est ça, les outils de travail on les maîtrise assez bien maintenant, mais c'est de faire embarquer les personnes [OK] c'est ça qui est plus compliqué.*
- *En termes d'implantation, là, parce qu'on parlait d'implantation, bien il reste encore un petit peu d'effort dans le fond pour convertir tout le monde à l'utilisation.*
- *Ça arrive encore parce que dans le fond il y a des gens qui prennent des raccourcis, qui vont aller modifier les dessins au niveau de la maquette.*
- *Il faut laisser le temps aux gens de s'assimiler et de prendre confiance à ces technologies-là. Je pense que c'est juste la nature humaine aussi un peu là versus [Parfait] les nouveaux... outils technologiques.*

On peut comprendre que, selon les participants, le temps permettra aux utilisateurs de bien comprendre pourquoi la technologie est bonne pour eux. L'hypothèse derrière ces propos souligne que la technologie est bonne, mais que ce sont les utilisateurs qui ne saisissent pas bien comment l'utiliser ou les raisons pour lesquelles ils devraient l'utiliser. En aucun cas, la technologie n'est remise en question. Dans la littérature, il est possible de voir que ces échecs sont souvent décrits comme de la résistance aux changements (Dent & Goldberg, 1999). En effet, « *ce terme est utilisé de manière récurrente dans les pratiques de gestion lorsque les gestionnaires croient avoir utilisé les meilleures pratiques de gestion, fait preuve de leadership et avoir identifié les risques qui devaient être encadrés, mais que les résultats ne sont pas à la hauteur de leurs attentes* » (Aubert et al., 2007). Cependant, Dent & Golberg (1999) dans leur article « *Resistance to Change* » expliquent que les individus ne résistent pas aux changements en soi. Il est prouvé que « *de manière générale, les employés comprennent les nouveaux objectifs et désirent les atteindre, mais que certains obstacles les empêchent d'avancer. Ces obstacles sont le plus souvent liés à la structure de l'organisation* ». Ainsi, selon Lewin la résistance peut être à différents endroits dans un système, mais la probabilité que la résistance

soit individuelle est peu probable dans la majorité des cas (Dent & Goldberg, 1999). Être à l'écoute des besoins de l'environnement et identifier des solutions viables en fonction des besoins des utilisateurs semble alors être favorable à une organisation, puisque le processus que l'on tente de mettre en place est parfois incompatible avec la culture de l'entreprise (Mutai, 2009).

De plus, Howell & Batcheler (2007) expliquent que la construction est un milieu où la délimitation des responsabilités professionnelles et individuelles date de très longtemps et est solidement ancrée dans les méthodes traditionnelles. Ainsi, changer ce type de structure fragmentée en tentant de tendre vers une structure collaborative peut être très ardu.

CONCLUSION

L’industrie de la construction est constamment confrontée à une réalité où différentes disciplines doivent collaborer à un même projet sans être liées par des objectifs financiers communs. Les outils numériques sont utilisés afin d’améliorer les pratiques et sont considérés comme une avenue intéressante pour répondre aux problématiques qu’entraîne le travail multidisciplinaire. L’objectif de notre recherche était de récolter des informations riches sur les préoccupations liées à la responsabilité dans l’utilisation de la maquette 3D basée sur la réalité observable d’une organisation d’envergure dans l’industrie de la construction au Québec, qui a entrepris des démarches et exploite la maquette numérique 3D dans ses pratiques. Puis, notre second objectif était de comparer les données récoltées en lien avec la réalité vécue en termes d’enjeux de responsabilité BIM des utilisateurs du milieu de la construction avec celle des utilisateurs PLM du milieu de l’aéronautique.

À travers les travaux effectués dans le cadre de cette recherche, nous avons exploré les enjeux de responsabilité selon deux volets : la responsabilité juridique/contractuelle et la responsabilité professionnelle. Nous y sommes parvenus en interrogeant des utilisateurs de deux milieux (construction et aéronautique) sur leurs vécus uniques. Cela nous a permis de dépeindre et clarifier la nature de ces préoccupations à travers quatre phases distinctes comptant sept participants du milieu de la construction et deux autres participants de l’aéronautique. Durant les phases, les entrevues avaient une durée variante entre 45 et 80 minutes chacune. Nous avons été en mesure de regrouper les préoccupations en huit grandes catégories : les lois au Québec, l’identification du responsable, la distribution des risques, la distribution des rôles et responsabilités ambiguë, appréhender l’entièreté du contenu, la différence entre les disciplines, la signature de la maquette numérique et la confiance envers le modeleur. Parmi ces catégories l’une d’elles est quasi inexistantes dans la littérature, soit celle en lien avec la difficulté supplémentaire d’appréhender l’entièreté du contenu d’un modèle 3D. Cela fut pour nous une découverte. Une troisième phase d’entrevues afin de mieux cerner cet enjeu. L’analyse de cet enjeu a révélé sept sous

catégories : appréhender l'entièreté du contenu, implication dans la préparation de la maquette, convention de représentation, interprétations multiples, finalité du document, modèle théorique par rapport à la réalité terrain, non-altérabilité de la maquette 3D.

Suite à ces entrevues, les résultats ont été synthétisés afin de mener deux discussions avec des acteurs importants du monde de l'aéronautique ayant une vaste expérience des projets utilisant la maquette 3D. Le but des discussions était de vérifier si les constats réalisés grâce à la troisième phase d'entrevues semblaient étrangers ou familiers au monde de l'aéronautique. En comparant les vécus des participants des deux milieux, divers constats ont été établis. Malgré nos présuppositions, le milieu de l'aéronautique n'est pas plus avancé que le domaine de la construction par rapport à la signature de la maquette 3D. Nous avons aussi pris conscience que la majorité des enjeux par rapport à la signature d'une maquette 3D en construction était vécue de manière similaire en aéronautique. En prenant du recul et en examinant l'ensemble des résultats, nous en venons à la conclusion qu'actuellement la maquette 3D ne semble pas être approuvée dans son entièreté dans les deux milieux, qu'en aéronautique, elle semble être utilisée à des fins de design et d'outils de référence seulement, et qu'en aéronautique, la validation se fait plutôt sur des modèles unitaires, des installations ou bien un ensemble de documents requis par Transport Canada.

Cette recherche a permis d'explorer les enjeux de responsabilité face à la maquette 3D peu documentés dans la littérature, surtout quant à la signature d'un document 3D. Les enjeux de cet ordre sont principalement décrits comme une sous-catégorie ou un type de barrière relative à un thème ou à une catégorie d'obstacles précise. Ainsi la contribution de cette recherche a permis de clarifier les enjeux de responsabilité propre à une entreprise en construction et de mettre en lumière des catégories et sous-catégories d'enjeux peu développées dans la littérature par les yeux des utilisateurs. Toutefois, cette recherche a aussi ses limites. En effet, malgré l'utilisation d'une méthodologie exploratoire, on ne peut pas s'assurer d'avoir couvert l'ensemble des enjeux en lien avec la responsabilité. De plus, malgré la rigueur de l'analyse inductive et déductive, la subjectivité des chercheurs et les biais personnels peuvent biaiser les résultats. Aussi, les efforts investis ont été réalisés en collaboration avec une entreprise

partenaire du milieu de la construction. La démarche ne nous permet pas de généraliser les constats à l'ensemble de l'industrie. De plus, le BIM évolue rapidement et est relativement récent dans le milieu de la construction. Ainsi, le contexte de l'étude fait état de la situation pour la période 2017 à 2019.

Pour donner suite à cette recherche, de nombreuses avenues sont disponibles. On pourrait notamment explorer avec plus de précision chacune des sous-catégories en lien avec la difficulté supplémentaire d'appréhender l'entièreté du contenu qu'amène le 3D. En ce sens, on pourrait tenter d'évaluer la différence de charge mentale engendrée par le travail de validation et de signature de la donnée numérique 3D, versus 2D. Il serait également intéressant de comparer les technologies collaboratives de modélisation 3D du PLM en lien avec les enjeux décrits. Il serait judicieux de comparer les enjeux de responsabilités vécus dans le domaine de la construction au Québec avec celui de pays étrangers. Il serait également possible de comparer les enjeux de responsabilités en lien avec le degré de formation face au BIM. On pourrait aussi vérifier si les enjeux de responsabilités identifiés ici seraient observés au sein d'un plus grand échantillonnage d'entreprises du milieu de la construction et de l'aéronautique au Québec. Enfin, on pourrait explorer les enjeux de responsabilités selon les différents stades d'implémentation du BIM, et explorer les enjeux de responsabilités en impliquant d'autres disciplines comme les architectes, les entrepreneurs, les gestionnaires d'installations.

ANNEXE I

QUESTIONNAIRE DE VALIDATION DU VOCABULAIRE

Validation des mots (BIM/PLM)

1. Résumé du contexte et des objectifs de la recherche.

Afin de mener à bien un projet de petite ou grande envergure dans le domaine de la construction ou de l'aéronautique, différentes expertises et disciplines sont requises. En effet, ces projets multidisciplinaires nécessitent l'apport de différentes professions pour rassembler l'information et les ressources nécessaires afin de réussir les projets. Même si la nécessité de collaboration est largement reconnue, et que la mise en œuvre d'une chaîne numérique efficace constitue une avenue prometteuse, de nombreux problèmes demeurent à résoudre. La notion de responsabilité face aux données numériques se révèle être, au cours des discussions avec le milieu industriel, un enjeu constituant un frein au déploiement de l'approche BIM, au moins dans certains cas. Il n'est cependant pas clair que l'industrie manufacturière, notamment l'aéronautique, éprouve les mêmes difficultés avec l'approche PLM.

L'objectif principal de la recherche sera de réaliser une étude exploratoire afin d'explorer et de comparer les enjeux de responsabilité face à la donnée numérique dans les contextes du BIM et du PLM.

Plus précisément, il sera question d'identifier les freins au déploiement des données numériques, d'explorer et de comparer les différents environnements des organisations qui adhèrent et implantent les concepts du BIM ou du PLM au Québec et à l'international. Le projet ciblera le domaine de la construction ou du génie civil, ainsi qu'un domaine plus près du secteur manufacturier, l'aéronautique, dans un but de comparaison. Puis, celui-ci aura aussi comme sous-objectif d'explorer les différents éléments pouvant impacter les enjeux de responsabilité du BIM et du PLM.

- 2. De manière générale, pouvez-vous nous expliquer votre compréhension de notre projet de recherche?**
- 3. Selon votre compréhension de notre projet de recherche, quel vocabulaire (termes) devrait-on utiliser dans le contexte d'[Nom de l'entreprise] afin de recueillir le plus d'information possible par rapport à l'implémentation de la donnée numérique et d'assurer la compréhension de tous? (Exemple : Utiliser le terme BIM, PLM, données numériques ou modélisation 3D, etc.)**

Pourquoi? Pourriez-vous définir le terme choisi

4. **Ce vocabulaire est-il fréquemment utilisé dans l'entreprise pour discuter de la donnée numérique?**
5. **Selon vous, si on utilise ce vocabulaire dans les questions des futurs entretiens avec différents membres de votre entreprise, vos membres auraient-ils toute la même compréhension du vocabulaire choisi? Si non, pourquoi? Quel vocabulaire pourrait-on utiliser pour garantir une excellente compréhension globale?**

ANNEXE II

QUESTIONNAIRE D'ENTREVUE PHASE 2

1. Introduction et consentement

À la suite des différentes entrevues que nous avons menées avec certains membres de votre organisation, ayant comme point en commun une compréhension approfondie de l'utilisation de la maquette 3D chez [Nom de l'entreprise], nous avons été interpellés par un élément en particulier en ce qui a trait aux enjeux de la responsabilité face à la donnée numérique qui est revenu plusieurs fois lors des entrevues et qui nous semble intéressant. Néanmoins,

Afin d'assurer une compréhension unique face aux deux types d'enjeux de responsabilité, voici une courte définition des enjeux :

Le premier enjeu fait référence aux responsabilités individuelles comme une tâche à accomplir selon la fonction ou le rôle d'un individu dans le projet.

Le deuxième enjeu fait référence à la responsabilité juridique/contractuelle se traduisant par la responsabilité pénale en cas de problème, qui implique d'identifier le fautif à blâmer.

QUESTIONS D'ENTREVUE

2. Introduction et consentement

L'objectif de la recherche :

Exploration des enjeux de responsabilité dans le contexte du BIM et du PLM dans les firmes de construction et d'aéronautique.

Objectifs de l'entrevue :

- a. Comprendre le contexte et l'environnement de votre compagnie.
- b. Connaître votre opinion par rapport aux enjeux de responsabilité.
- c. Comprendre les répercussions des enjeux de responsabilité, si cela s'applique.

3. Identification du répondant

Nom du participant, poste, nom de la compagnie, secteur d'activité, lieu

4. Contexte

Pourriez-vous m'expliquer votre rôle par rapport à la maquette 3D?

- Quel est la place de la maquette 3D dans votre travail?

5. Contexte général

Quelle est la place de la maquette 3D dans votre entreprise?

- À quelle fin en faites-vous l'usage? Par exemple : pour la modélisation 3D, pour faciliter la collaboration, pour améliorer la gestion de l'information, etc.

6. Enjeux de responsabilité individuelle

Comment les rôles et les responsabilités sont-ils distribués par rapport à la maquette 3D dans votre organisation?

- Pourriez-vous me fournir des exemples concrets?
- Comment ce processus a-t-il été établi?

Selon vous, les rôles et responsabilités ont-ils changés depuis l'utilisation de la maquette 3D?

- Si oui, lesquels? De quelle manière? Quels ont été les impacts de ces changements?

Selon vous, l'organisation du travail actuelle (distribution des rôles et responsabilités) autour de la maquette 3D engendre-t-elle des enjeux de responsabilité?

Ex : Responsabilité ambiguës, incompréhension des responsabilités, etc.

- Pourquoi croyez-vous cela? Faits observables?
- Si oui, comment l'organisation du travail devrait-elle être organisée selon le contexte?

Selon vous, les enjeux de responsabilité sont-ils impactés par le travail collaboratif entre les différents professionnels (employés)?

- Pourquoi croyez-vous cela? Faits observables?

7. Enjeux de responsabilité juridique

En cas d'enjeux juridiques ou d'erreur sur la maquette 3D, pourriez-vous m'expliquer comment votre entreprise fait-elle pour identifier le responsable?

- Est-ce un individu qui devient responsable ou est-ce l'entreprise?
- Pourriez-vous me fournir des exemples concrets?
- Comment ce processus a-t-il été établi?

Selon vous, la maquette 3D engendre-t-elle des enjeux d'identification du responsable lors d'un problème?

- Pourquoi croyez-vous cela? Faits observables?
- Si oui, comment la responsabilité juridique devrait-elle être distribuée selon le contexte?

Selon vous, est-ce que les ententes contractuelles entre vous et vos fournisseurs (et clients) sont source d'enjeux concernant la responsabilité dans le contexte de l'utilisation de maquette 3D? Ex : Besoin de nouvelles législations entourant la BIM, un contrat de travail désuet, des risques imprécis.

- Pourquoi ?
- Si oui, de quel ordre? Lesquels?
- Si oui, comment votre organisation fait-elle pour les gérer?
- Si oui, de quelle manière serait-il possible d'améliorer le mode contractuel selon le contexte?

8. Autre - enjeux de responsabilité

Selon vous, avez-vous vécu d'autres enjeux concernant la responsabilité face à la maquette 3D?

- Si oui, lesquels ? De quelle manière? Quels ont été leurs impacts?

Selon vous, les enjeux de responsabilité sont-ils vécus de la même manière d'une discipline à l'autre?

- Pourriez-vous me fournir des exemples concrets?

Remerciement,

Demander s'il est possible de communiquer avec eux de nouveau en cas de besoin

ANNEXE III

QUESTIONNAIRE D'ENTREVUE PHASE 3

Questions d'approfondissement

1. Introduction

Pour donner suite à l'analyse des différentes entrevues réalisées dans le cadre du projet sur les enjeux de responsabilité face au déploiement des outils et des processus liés à la maquette numérique, nous avons été interpellés par un phénomène en particulier qui semblait se dégager des celles-ci. Afin d'approfondir notre compréhension, nous avons donc décidé de réaliser une troisième phase d'entrevues avec les répondants [Nom de l'entreprise].

Retour sur les deux types de responsabilités

La responsabilité individuelle comme une tâche à accomplir selon la fonction ou le rôle d'un individu dans le projet. Exemple : coordination, mise à jour de la maquette.

La responsabilité juridique/contractuelle se traduisant par la responsabilité pénale en cas de problème, qui implique d'identifier le fautif à blâmer.

2. Introduction/consentement

L'objectif de la recherche :

Étude exploratoire sur les enjeux de responsabilité face au déploiement des outils et des processus liés à la maquette numérique

Objectifs de l'entrevue :

a. Approfondir la notion de difficulté supplémentaire d'appréhender l'entièreté du contenu vers le mode 3D

3. Identification du répondant

- Nom du participant

4. Contexte

Selon vos expériences, le passage du mode 2D vers le mode 3D peut-il engendrer certaines réticences à signer, en lien avec la responsabilité? o Pour quelle raison? Quelles en sont les causes selon vous? Pourriez-vous me donner des exemples?

En utilisant la méthode traditionnelle 2D, les professionnels sont amenés à signer des plans 2D sur lesquels l'ouvrage à construire est représenté par des vues. Toutefois, avec l'utilisation de la maquette numérique 3D, les professionnels sont plutôt amenés à valider et à signer une maquette qui contient de telles vues, ainsi que d'autres données et paramètres plus ou moins manifestes.

- o Pourriez-vous me donner des exemples?
- o Pourriez-vous me parler d'une instance que vous avez vécue?

Ainsi, selon vos expériences, le fait de valider et de signer un modèle 3D dans toute sa complexité pourrait-il être un élément d'inconfort en lien avec la responsabilité?

Selon vos expériences, les enjeux reliés à la validation et à la signature, que ce soit d'un modèle 2D ou d'un modèle 3D, sont-ils différents des enjeux liés à la signature d'un document papier?

- o Pour quelle raison? Quelles en sont les causes selon vous?
- o Pourriez-vous me donner des exemples?

Remerciement,

Demander s'il est possible de communiquer avec eux de nouveau en cas de besoin.

ANNEXE IV



Projet H20171003

Autorisé par le comité d'éthique
de la recherche de l'ETS
le 28 novembre 2017

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

TITRE DU PROJET DE RECHERCHE

Étude exploratoire sur les enjeux de responsabilités face à la donnée numérique
dans le contexte du BIM et du PLM

CHERCHEUR PRINCIPAL

Directeur de recherche James Lépalme, Professeur, Département du génie de la production automatisée,
École de technologie supérieure (ETS)

CO-CHERCHEURS / ÉTUDIANTE

Co-directeurs Louis Rivest, Professeur, Département du génie de la production automatisée, ÉTS
Conrad Boton, Professeur, Département du génie de la construction, ÉTS

Étudiante Maggie Falardeau, Étudiante à la maîtrise, Génie, concentration gestion de l'innovation, ÉTS

FINANCEMENT

Le chercheur principal a reçu du financement de la part du Groupe de Recherche en Intégration et Développement Durable en Environnement Bâti (GRIDD) pour mener à bien ce projet de recherche.

INVITATION À PARTICIPER À UN PROJET DE RECHERCHE

Le chercheur James Lépalme mène un projet de recherche dans le but de réaliser une étude exploratoire afin d'explorer et de comparer les enjeux de responsabilité face à la donnée numérique dans les contextes du BIM (Building Information Modeling) et du PLM (Product Lifecycle Management). Nous sollicitons aujourd'hui votre participation à ce projet de recherche. Nous vous invitons à lire attentivement ce formulaire d'information et de consentement, afin de décider si vous souhaitez participer. Il est important de bien comprendre ce formulaire. N'hésitez pas à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur principal ou aux membres de l'équipe de recherche. Prenez le temps nécessaire pour prendre votre décision.

NATURE ET OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

Afin de mener à bien un projet de petite ou grande envergure dans le domaine de la construction ou de l'aéronautique, différentes expertises et disciplines sont requises. En effet, ces projets multidisciplinaires nécessitent l'apport de différentes professions pour rassembler l'information et les ressources nécessaires afin de réussir les

Les données de recherche seront conservées à l'ÉTS sur un ordinateur protégé par un mot de passe pendant toute la durée de la collecte d'information et six mois suivants la collecte sous la responsabilité du chercheur principal. Elles seront consultées par l'ensemble des membres de l'équipe de recherche. Elles pourront être publiées dans des articles, faire l'objet de discussions scientifiques, ou être utilisées à des fins d'enseignement. Dans aucun de ces cas, il ne sera pas possible de vous identifier.

À des fins de surveillance et de contrôle, votre dossier de recherche pourra être consulté par une personne mandatée par le comité d'éthique de la recherche de l'ÉTS. Cette personne adhère à une politique de confidentialité.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET DROIT DE RETRAIT

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure. Vous êtes libre de refuser d'y participer, et vous pouvez également vous retirer, à n'importe quel moment au cours du projet, sans avoir à donner de raison, en informant l'équipe de recherche. Vous pouvez également refuser de répondre à une question.

Si vous décidez de vous retirer du projet, les renseignements et données recueillis seront détruits, sauf si le chercheur ne possède plus la clé de correspondance permettant de faire le lien entre votre identité et votre code de recherche.

COMPENSATION

Vous ne recevrez pas de compensation financière pour votre participation à ce projet de recherche.

VOS DROITS EN TANT QUE PARTICIPANT

En acceptant de participer à ce projet de recherche, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez le chercheur principal et l'établissement de leur responsabilité civile et professionnelle.

SUIVI ÉTHIQUE

Le comité d'éthique de la recherche de l'ÉTS a approuvé ce projet de recherche. De plus, il approuvera au préalable toute révision et toute modification apportée au formulaire d'information et de consentement et au protocole de recherche.

PERSONNES-RESSOURCES

Pour toute question en lien avec le projet de recherche, vous pouvez contacter le chercheur principal au 514 396-8666 ou à l'adresse courriel james.lapalme@etsmtl.ca. Vous pouvez également contacter l'étudiante Maggie Falardeau à l'adresse courriel maggie.falardeau.1@ens.etsmtl.ca.

Pour toute question en lien avec vos droits en tant que participant à la recherche, vous pouvez contacter la coordonnatrice du Comité d'éthique de la recherche de l'École de technologie supérieure en téléphonant au (514) 396-8800 poste 7807.

projets. Même si la nécessité de collaboration est largement reconnue, et que la mise en œuvre d'une chaîne numérique efficace constitue une avenue prometteuse, de nombreux problèmes demeurent à résoudre. La notion de responsabilité face aux données numériques se révèle être, au travers des discussions avec le milieu industriel, un enjeu constituant un frein au déploiement de l'approche BIM (Building Information Modeling), au moins dans certains cas. Il n'est cependant pas clair que l'industrie manufacturière, notamment l'aéronautique, rencontre les mêmes difficultés avec l'approche PLM (Product Lifecycle Management).

L'objectif principal de la recherche sera de réaliser une étude exploratoire afin d'explorer et de comparer les enjeux de responsabilité face à la donnée numérique dans les contextes du BIM et du PLM.

Plus précisément, il sera question d'identifier les freins au déploiement des données numériques, d'explorer et comparer les différents environnements des organisations qui adhèrent et implantent les concepts du BIM ou du PLM au Québec et à l'international. Le projet ciblera le domaine de la construction ou du génie civil, ainsi qu'un domaine plus près du secteur manufacturier, l'aéronautique, dans un but de comparaison. Puis, celui-ci aura aussi comme sous-objectifs d'explorer les différents éléments pouvant influencer les enjeux de responsabilités du BIM et du PLM. La collecte d'information se fera sous forme d'entrevue.

PARTICIPATION DEMANDÉE

Si vous acceptez de participer au projet, vous serez invité(e) à passer une entrevue d'environ 60 à 75 minutes avec l'étudiante à la maîtrise Maggie Falardeau qui vous posera différentes questions sur votre expérience par rapport au sujet. Ces rencontres auront lieu dans les locaux de votre compagnie, ou ailleurs selon votre convenance, en fonction de vos disponibilités. L'entrevue sera enregistrée grâce à un support audio. Avec votre approbation, l'étudiante vous recontactera au besoin en vous avisant au préalable pour s'assurer que l'interprétation de vos réponses est fidèle, ou bien pour approfondir certaines de vos réponses.

RISQUES ET INCONVÉNIENTS

Il n'y a pas de risque particulier à participer à ce projet. Néanmoins, certaines questions peuvent raviver des souvenirs liés à une expérience désagréable. Vous pourrez à tout moment décider de mettre fin à l'entrevue ou tout simplement refuser de répondre à une question.

AVANTAGES ET BÉNÉFICES

Il n'y a pas d'avantage particulier à participer à ce projet. Vous contribuez cependant à une meilleure compréhension des enjeux qui touchent l'implantation de la donnée numérique en organisation et contribuez à l'avancement des connaissances scientifiques.

CONFIDENTIALITÉ

Vos renseignements identificatoires (nom, prénom, courriel), vos réponses aux questions et les enregistrements audios recueillis durant votre participation au projet demeureront confidentiels, dans les limites prévues par la loi.

Tout au long du projet, vous serez identifié(e) par un code de recherche (par exemple : Participant 1-H). La clé de correspondance, permettant de relier vos renseignements identificatoires à vos données de recherche, sera conservée par le chercheur principal à l'ÉTS sur un ordinateur protégé par un mot de passe. L'étudiante, son directeur et ses codirecteurs auront accès à la clé du code. Les renseignements identificatoires et la clé de correspondance seront conservés pendant 6 mois après la fin du recrutement. Ils seront par la suite détruits, et il ne sera alors plus possible de vous identifier.

CONSENTEMENT

Participant(e)

Je reconnais avoir lu le présent formulaire de consentement et avoir disposé de suffisamment de renseignements et du temps nécessaire pour prendre ma décision. Après réflexion, je consens volontairement à participer à ce projet de recherche, aux conditions énoncées.

- J'autorise l'équipe de recherche à enregistrer l'entretien OUI NON
 - J'autorise l'équipe de recherche à me recontacter au besoin OUI NON
-

*Nom du(de la) participant(e)**Signature**Date***Personne qui obtient le consentement**

J'ai expliqué au(à la) participant(e) tous les aspects pertinents de la recherche et j'ai répondu aux questions qu'il(elle) m'a posées.

- Je m'engage à remettre une copie du présent formulaire signé au(à la) participant(e).
-

*Nom de la personne qui obtient le consentement**Signature**Date*

ANNEXE V

LETTRE D'INVITATION AUX PARTICIPANTS

LETTRE D'INVITATION

Invitation à participer au projet de recherche :

Étude exploratoire sur les enjeux de responsabilité face à la donnée numérique dans le contexte du BIM et du PLM

Chercheuse étudiante	Maggie Falardeau, Étudiante à la maîtrise, Génie, concentration gestion de l'innovation, École de Technologie Supérieure
Directeur de recherche	James Lapalme, Professeur, Département du génie de la production automatisée, École de Technologie Supérieure
Sous-directeurs	Louis Rivest, Professeur, Département du génie de la production automatisée, École de Technologie Supérieure Conrad Boton, Professeur, Département du génie de la construction, École de Technologie Supérieure

Objectifs du projet

Explorer et comparer les enjeux de responsabilité face à la donnée numérique dans les contextes du BIM (Building Information Modeling) et du PLM (Product Lifecycle Management)

Tâche

Votre participation à ce projet de recherche consiste à participer à une entrevue d'une durée de 60 à 75 minutes avec l'étudiante à la maîtrise qui portera sur votre expérience en lien avec le sujet. Le lieu et le moment seront déterminés avec vous selon vos disponibilités et vos préférences.

Confidentialité

Les données utilisées dans cette étude sont strictement confidentielles et ne pourront en aucun cas mener à votre identification. La confidentialité sera assurée par une codification des données identificatoires (Nom, poste, etc.). La publication des résultats ne permettra pas d'identifier les participants. Les données électroniques seront sécurisées grâce un ordinateur crypté nécessitant un accès contrôlé par un mot de passe et en lieu sûr.

Risque associé

Aucun risque n'est associé à votre participation. Néanmoins, certaines questions pourraient vous remémorer des souvenirs désagréables et le temps consacré à l'entrevue seront les seuls inconvenients.

Participation volontaire

Votre participation à ce projet est totalement volontaire, vous entièrement libre de participer ou non à cette étude. De plus, lors de l'entrevue vous avez le droit en tout temps de ne pas répondre à certaines questions ou vous retirez sans préjudice ni besoin de justifier la raison.

Pour participer

SVP, communiquer par courriel ou par téléphone avec la responsable de la recherche afin de prévoir un moment et un lieu de rencontre qui vous convient. Si vous communiquez par courriel, veuillez indiquer vos disponibilités dans des délais raisonnables (pour les 2 à trois prochaines semaines).

Remerciement

Votre collaboration est précieuse. Nous vous en remercions et nous l'appréciions grandement.

Responsable de la recherche

Pour toute question relative à l'étude, ou pour toute autre information veuillez communiquer avec **Maggie Falardeau** au numéro de téléphone 514 586-0657 ou à l'adresse courriel maggie.falardeau.1@ens.etsmtl.ca

Question ou plainte concernant l'éthique de la recherche

Cette recherche est approuvée par le comité d'éthique de la recherche de l'École de Technologie Supérieure CÉR et un certificat portant le numéro H20171003 et a été émise le 28 novembre 2017.

Pour toute question ou plainte d'ordre éthique concernant ce projet de recherche, vous devez communiquer avec Laurence Marck, agente de recherche de la direction des affaires professorales, de la recherche et des partenariats de l'École de Technologie Supérieur par téléphone (514-396-8800 poste 7807) ou par courriel Laurence.Marck2@etsmtl.ca

ANNEXE VI

Tableau-A VI- 3.12

Extraits tirés des verbatims		Commentaires associés
1- Participant 3 : « Tu as un dessin, là. Toi, l'ingénieur, tu vois que ça a certaines dimensions. Tu te dis que ça c'est deux lignes, puis il y a du texte. C'est facile à faire... check, check, check, check. Toute l'information à l'intérieur de ça, tu le contrôles puis tu le vois. »		Le participant fait la distinction entre le 2D ou tu n'as qu'à cocher la ‘check list’ pour t'assurer d'avoir validé l'ensemble et le 3D qui englobe une complexité supplémentaire.
2- Participant 3 : « Quand tu parles d'une maquette, il y a beaucoup d'autres informations, comme je t'avais dit, qui n'apparaissent pas forcément à l'écran. Il faut que tu joues. Donc, tu as une plus grande vue, mais comme je t'avais dit, ça peut être des paramètres, qui sont cachés dans l'arbre. Ça peut-être quand tu pivotes ton objet, ça, ça peut disparaître et ainsi de suite. J'aimerais te trouver une image... Dépendamment de comment tu regardes, tu as signé ta maquette, tu as défini des vues prédéfinies, mais tu es capable de le tourner. Ça, tu ne le contrôles pas. Le concepteur ne le contrôle pas, puis ça peut donner, que ça soit au niveau des côtes, des géométries, de l'éclairage, ça peut donner quelque chose que tu ne contrôles plus. Je pense que c'est fondamentalement ça la réponse des ingénieurs. »		Le participant explique qu'il y a « beaucoup d'autres informations qui n'apparaissent pas forcément à l'écran » et fait référence à des paramètres « cachés », ce qui nuit au contrôle total du concepteur face à la maquette 3D.
3- Participant 3 : « Tu as une complexité supplémentaire dans la donnée 3D que tu n'as pas dans la 2D. Comme je t'ai expliqué, une maquette 3D, au moins dans CATIA, ce n'est pas partout pareil, tu sais, c'est des milliers de fichiers qui sont interreliés. Tu connais le concept de WYSIWYG? What you see is what you get? Ben c'est un peu ça. Tu as tous ces liens. Si tu fais un petit changement ici, anodin, ça peut avoir des répercussions sur les autres. C'est pour ça que je t'avais dit, dans une maquette, contrairement à un dessin, si ton dessinateur il a changé ça... Tu avais un trait droit, tu as un trait courbe maintenant. »		Les participants semblent davantage confortables face à l'inventaire des éléments à valider avant de prendre la responsabilité du contenu du document en le signant. Le participant fait référence au concept de « What you see is what you get» pour décrire le 2D. Ainsi il fait la distinction entre le 3D comme étant plus complexe dû aux milliers de fichiers inclus et l'interrelation entre eux.

	Extraits tirés des verbatims	Commentaires associés
4-	<p>Participant 7 : « tu peux avoir des annotations qui ne sont pas nécessairement liées à la géométrie, mais qui sont sur des plans, etc., fait qu'en faisant la rotation tu peux avoir des annotations qui portaient à confusion, qui n'étaient pas alignées de façon optimale et quelqu'un aurait pu, disons imprimer ça. Ça pouvait amener à de la confusion. L'ingénieur n'aimait pas ça parce qu'il dit : la ligne, la cote qui identifie telle affaire, si je tourne mon modèle, elle pourrait ne pas pointer sur la bonne chose, quelqu'un pourrait l'imprimer et partir avec ça. Je ne veux pas que mon sceau soit associé à ça. C'est pour ça qu'on a figé la rotation pour ça soit vraiment dans le mode que l'ingénieur a déterminé. »</p>	Étant donné les interrelations entre les éléments de la maquette, il deviendrait aussi difficile de reconnaître et de maîtriser l'impact de certains changements spécifiques sur les éléments validés au préalable.
5-	<p>Participant 7 : « Ce que tu as sous les yeux c'est ce que tu signes, tandis qu'un modèle 3D tu rentres dans un monde où il y a des éléments qui sont visibles, des éléments que tu peux cacher, des propriétés, des attributs... tu peux avoir des critères de qualité dans la maquette. Un paquet d'affaires. Si l'ingénieur ne maîtrise pas un peu son livrable, ça peut certainement mener à des réticences à signer. »</p>	On explique la différence entre le modèle 2D et le 3D : « tandis qu'un modèle 3D tu rentres dans un monde où il y a des éléments qui sont visibles, des éléments que tu peux cacher, des propriétés, des attributs ».
6-	<p>Participant 5 : « Un logiciel comme Word, il y a tout un code qui est en train de rouler en arrière et toi, tu ne le vois pas ça. Fais que quand on parle de signer une maquette, c'est sûr et certain que ça revient un petit peu à ce que je disais tantôt. Quand tu l'as suivi — c'est pour ça qu'il faut que tu fasses le suivi — tu es plus à l'aise. Tu peux dire oui, je connais. Il y a une arborescence. Je connais très bien, dans l'arborescence, les paramètres qui ont servi à créer ces éléments-là, donc tu es plus à l'aise. C'est sûr que ce n'est pas du tout le même contexte. Quand on parle de papier, c'est papier. Tu le vois, ce que tu signes, c'est ça. Tandis qu'une maquette, il faut que tu fasses un suivi. »</p>	Il semble y avoir complexité supplémentaire qui crée un inconfort de validation pour les professionnels puisque le périmètre/les frontières de la validation deviennent plus ambigus. Le participant explique bien ce phénomène en disant que « quand on parle de papier, c'est papier. Tu le vois, ce que tu signes ». Le fait de signer le document numérique, où subsistent des commentaires et des ratures, rend la décision de signer plus difficile que de signer le même document imprimé sans commentaires ni ratures.

	Extraits tirés des verbatims	Commentaires associés
7-	<p>Participant 4 : « Donc, c'est certain en effet qu'il y a comme un clash parce que ça demande un lien entre le technicien puis l'ingénieur assez fort, qu'il y a une confiance, pour dire, oui, ton modèle tu l'as bien construit. Le problème, c'est que toutes les choses que l'ingénieur n'a pas forcément validées, tu tournes un modèle puis : ah oui... ce n'était pas de même. C'était censé être en dessous. Si l'ingénieur ne l'a pas tourné lui-même puis n'est pas allé valider chacune des informations, et qu'il n'a pas confiance en son technicien, bien ça provoque l'insécurité. »</p>	L'ingénieur qui prend la responsabilité de signer le modèle 3D travaille typiquement en binôme avec un modeleur qui prépare la maquette. Ainsi, la notion de confiance envers le modeleur semble être un outil pour remédier au manque de confiance envers le modèle.
8-	<p>Participant 7 : « qu'on a fait aussi justement avec le projet PDF 3D c'est qu'on répète le mode opératoire du 2D. C'est-à-dire que le livrable final c'est un livrable non éditabile, un document « mort ». Donc c'est ça qui devient ton document légal. À ce moment-là en ayant un document comme ça dans lequel on a gardé seulement ce qui était visible et d'avoir bloqué les vues, etc., on réduit la quantité d'information qui peut porter à confusion ou qui pourrait être, pas litigieuse, mais manipulable, etc. Je pense qu'en ayant ce média, c'était peut-être plus attrayant pour les ingénieurs qui avaient une réticence à signer une maquette CATIA parce que justement ça répond pas mal plus aux encadrements qu'il y a actuellement dans le domaine 2D. »</p>	Pour contourner cette difficulté, l'entreprise a opté pour l'utilisation d'un format PDF 3D où la signature est uniquement applicable à certaines vues figées spécifiques, alors que le modèle 3D dans son ensemble est destiné à des fins de visualisation seulement.

ANNEXE VII

CERTIFICAT D'ÉTHIQUE



Comité d'éthique de la recherche
École de technologie supérieure

28 novembre 2017

H20171003

Nouvelle

OBJET : **Titre du projet :** Enjeux de responsabilité face à la donnée numérique dans le contexte du BIM et du PLM
Responsable du projet : James Lapalme
Décision : AUTORISATION DE PROCÉDER

Monsieur Lapalme,

Le projet de recherche mentionné en rubrique a été déposé le 1er novembre 2017 pour évaluation par le comité d'éthique de la recherche (CÉR) de l'ÉTS. La présente lettre est pour vous informer que le président du CÉR a procédé à l'évaluation du dossier.

Liste des documents soumis pour évaluation :

- Formulaire de présentation du projet de recherche
- Exemple de questions posées en entrevue

À la lecture du dossier, nous comprenons que l'objectif du projet est de collecter des informations auprès de responsables d'implémentation du BIM (Building information management) et du PLM (Product Lifecycle Management) travaillant dans le domaine de la construction et du génie civil. Nous comprenons également que le but n'est pas d'identifier des entreprises ou des participants, mais plutôt d'obtenir des avis d'experts. Conséquemment, votre projet ne requiert pas de certificat éthique. Vous pouvez donc **aller de l'avant avec le recrutement des participants**.

Pour appuyer notre réflexion, voici un extrait de l'article 2.1 (ÉPTC2014*) :

« Dans certains cas, le projet de recherche peut comporter une interaction avec des personnes qui ne sont pas elles-mêmes visées par la recherche, en vue d'obtenir de l'information. Par exemple, un chercheur peut recueillir, auprès d'employés autorisés à communiquer des renseignements ou des données dans le cours normal de leur travail, de l'information au sujet d'organisations, de politiques, de méthodes, de pratiques professionnelles ou de rapports statistiques. Ces personnes ne sont pas considérées comme des participants aux termes de la Politique. »

Toutefois, nous souhaitons attirer votre attention sur certains points importants :

1. Soyez vigilant quant aux renseignements recueillis. Ceux-ci ne doivent pas porter atteinte aux personnes qui participent aux entrevues, et ne doivent en aucun cas permettre l'**identification par recouplement d'informations**. À cet égard, le CÉR vous conseille d'utiliser un système de codification des données qui ne contient aucune information identificatoire.
2. Assurez-vous de **détruire la clé de correspondance** permettant de faire le lien entre l'identité des participants et les codes de recherche dès la période de rétention écoulée.
3. Veuillez porter une attention particulière à la **protection de la confidentialité** des données qui seront recueillies durant le projet.
4. Par ailleurs, si vous envisagez de publier les résultats de cette recherche dans un congrès scientifique (colloque, etc.), assurez-vous qu'aucune information identificatoire ne soit dévoilée.

Veuillez agréer, Monsieur Lapalme, l'expression de mes sentiments les meilleurs.



Mathias Glaus, Ing., Ph.D.
Président
Comité d'éthique de la recherche

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abubakar, M., Ibrahim, Y. M., Kado, D., & Bala, K. (2014). Contractors' perception of the factors affecting Building Information Modelling (BIM) adoption in the Nigerian Construction Industry. In *Computing in civil and building engineering* (2014) (pp. 167-178).
- Agarwal, R., & Prasad, J. (1997). The role of innovation characteristics and perceived voluntariness in the acceptance of information technologies. *Decision Sciences, the Decision Sciences Institute*, 28(3), 557-582.
- Ahmed, H. (2011). *Analysis of Building Sector Construction Productivity Trends in North America between 1995 and 2009* (Master's thesis, University of Waterloo).
- Alreshidi, E., Mourshed, M., & Rezgui, Y. (2017). Factors for effective BIM governance. *Journal of Building Engineering*, 10, 89-101.
- Anadón, M., & Guillemette, F. (2006). La recherche qualitative est-elle nécessairement inductive? *Recherches qualitatives*, 5(1), 26-37.
- Aram, S., & Eastman, C. (2013). Integration of PLM solutions and BIM systems for the AEC industry. In *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction* (Vol. 30, p. 1). IAARC Publications.
- Arensman, D. B., & Ozbek, M. E. (2012). Building information modeling and potential legal issues. *International Journal of Construction Education and Research*, 8(2), p.146-156.
- Ashcraft, H. W. (2008). Building information modeling: a framework for collaboration. *Constr. Law.*, 28, 5.
- Aubert, B. A., Babin, G., Barki, H., Bernard, J. G., Bernier, C., Cameron, A. F., ... & Mireault, P. (2007). Les technologies de l'information et l'organisation: une histoire riche, un avenir prometteur. *Gestion*, 32(3), 110.
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and management in engineering*, 11(3), 241-252. Repéré à [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Azhar, S., Khalfan, M. & Maqsood, T. (2012) Building Information Modelling (BIM): Now and Beyond. *Construction Economic and Building*, 12, p. 15-28.
Repéré à <https://doi.org/10.5130/ajceb.v12i4.3032>

Benoit A, Babin G., Barki, H., Bernard, J., Bernier C., & Cameron A. (2007) *Les technologies de l'information et l'organisation : une histoire riche, un avenir prometteur*, Le service de l'enseignement des technologies de l'information de HEC Montréal, ABI1INFORM Collection, pp.110

Bertrand, Y. (2011). *Culture organisationnelle*. PUQ.

Boton, C., Rivest, L., Forgues, D., & Jupp, J. (2016). Comparing PLM and BIM from the product structure standpoint. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 443-453)

Bouguessa, A., Forgues, D., & Doré, S. (2013). La complémentarité entre le Building Information Modeling (BIM) et le Product LifeCycle Management (PLM) en passant par le Lean Construction (LC). In *CSCE 2013 General Conference-Congrès général 2013 de la SCGC*.

Bosch-Sijtsema, P., Isaksson, A., Lennartsson, M., & Linderoth, H. C. (2017). Barriers and facilitators for BIM use among Swedish medium-sized contractors- “We wait until someone tells us to use it”. *Visualization in engineering*, 5(1), 3.

Blais, M., & Martineau, S. (2006). L’analyse inductive générale: description d’une démarche visant à donner un sens à des données brutes. *Recherches qualitatives*, 26(2), 1-18.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77-101.Boyatzis, R. E. (1998). *Transforming qualitative information: Thematic analysis and code development*. sage.

Cantamessa, M., Montagna, F., & Neirotti, P. (2012). Understanding the organizational impact of PLM systems: evidence from an aerospace company. *International Journal of Operations & Production Management*.

CEFRCIO, (2014), *L'inévitable passage à la modélisation des données du bâtiment (BIM) dans l'industrie de la construction au Canada: synthèse de trois expérimentations*. Conseil National de Recherches Canada. Repéré à <http://gridd.etsmtl.ca/publications/2014%20rapport%20L%E2%80%99in%C3%A9vit%20passage%20au%20BIM%20dans%20l%20E2%80%99industrie%20de%20la%20construction%20au%20Canada.pdf>

Coakes, E., & Elliman, T. (2002). Stakeholders and Boundaries in Strategic Information Systems Planning. In *New Perspectives on Information Systems Development* (pp. 1-18). Springer, Boston, MA.

- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Dent, E. B., & Goldberg, S. G. (1999). Challenging “resistance to change”. *The Journal of applied behavioral science*, 35(1), 25-41.
- Den Otter, A., Pels, H. J., & Iliescu, I. (2011). BIM versus PLM: risks and benefits.
- Denzer, A. S., & Hedges, K. E. (2008). From CAD to BIM: Educational strategies for the coming paradigm shift. In *AEI 2008: Building Integration Solutions* (pp. 1-11).
- Deslauriers, J., Gagné, R., Gouba, F., & Paré, J. (2012). La compétitivité des industries canadiennes par rapport à celles des États-Unis. *Centre sur la productivité et la prospérité*.
- Dey, I. (1999) *Grounding Grounded Theory: Guidelines for Qualitative Inquiry*, Emerald Group Publishing Limited, 1999, 300 pages
- Dossick, C.S. & Neff, G. (2011). “*Messy Talk and Clean Technology: Communication, Problem Solving and Collaboration Using Building Information Modeling.*” The Engineering Project Organization Journal 1(3): 83–93.
- Eastman, C. M., Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- Faber, L., Svindt, K., & Wandahl, S. (2016). Legal aspects connected to the use of BIM in the danish building sector. In *Construction Research Congress 2016* (pp. 528-537). American Society of Civil Engineers.
- Fenneteau, H. (2015). *Enquête et questionnaire-3e édition*. Dunod.
- Ford, G., Bartley, T., Igba, J., Turner, A., & McMahon, C. (2013). Product life cycle data management: a cross-sectoral review. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 58-67). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Fortin, A. (1992). Jean-Pierre Deslauriers, Recherche qualitative. Guide pratique, Montréal, McGraw-Hill, 1991, 142 p. *Nouvelles pratiques sociales*, 5(2), 215-217.
- Foster, L. L. (2008). *Legal issues and risks associated with building information modeling technology*. (Doctoral dissertation, University of Kansas).
- GCR, N. (2004). Cost analysis of inadequate interoperability in the US capital facilities industry. *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, 223-253. Repéré à www.bfrl.nist.gov/oaepublications/gcrs/04867.pdf

Gouvernement du Québec (2020) Loi concernant le cadre juridique des technologies de l'information, publication québec,
Repéré à <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr>ShowDoc/cs/C-1.1>

Gouvernement du Québec (2020) Propriété intellectuelle, Repéré à
<https://www2.gouv.qc.ca/entreprises/portail/quebec/gerer?g=gerer&sg=&t=o&e=994946902>

Green, S. D., Fernie, S., & Weller, S. (2005). Making sense of supply chain management: a comparative study of aerospace and construction. *Construction Management and Economics*, 23(6), 579-593.

Gu, N., & London, K. (2010). Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in construction*, 19(8), 988-999.

Hewett, A. (2010). Product lifecycle management (PLM): Critical issues and challenges in implementation. In *Information Technology and Product Development* (pp. 81-105). Springer, Boston, MA.

Hobbs, R.W. (1996). "Leadership Through Collaboration." AI Architect, Vol. 3, p. 11.OAQ, 2015, Sceau et signature numérique, Repéré à
https://www.oaq.com/candidatetudiants/sceau_et_signature_numerique.html

Holzer, D. (2007). Are you talking to me? Why BIM alone is not the answer. *Open Publications of UTS Scholars. OPUS*.

Howard, R., & Björk, B. C. (2008). Building information modelling—Experts' views on standardisation and industry deployment. *Advanced engineering informatics*, 22(2), 271-280.

Howard, H. C., Levitt, R. E., Paulson, B. C., Pohl, J. G., & Tatum, C. B. (1989). Computer integration: reducing fragmentation in AEC industry. *Journal of computing in civil engineering*, 3(1), 18-32.

Howell, I., & Batcheler, B. (2005). Building information modeling two years later huge potential, some success and several limitations. *The Laiserin Letter*, 22(4), 3521-3528.

Joseph, P.O. (2013). *La documentation logicielle vue à travers les métaphores de communication et la cybernétique des relations avec les autres : une critique des pratiques de communication de la documentation logicielle.* (Mémoire de maîtrise en génie, École De Technologie Supérieure, Québec)

Jin, R., Hancock, C., Tang, L., Chen, C., Wanatowski, D., & Yang, L. (2017). Empirical study of BIM implementation-based perceptions among Chinese practitioners. *Journal of management in engineering*, 33(5), 04017025.

- Jupp, J. R., & Nepal, M. (2014). BIM and PLM: comparing and learning from changes to professional practice across sectors. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 41-50). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Jupp, J. R. (2013). Incomplete BIM implementation: exploring challenges and the role of product lifecycle management functions. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 630-640). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Jupp, J. R., & Singh, V. (2014). Similar concepts, distinct solutions, common problems: learning from PLM and BIM deployment. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 31-40). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Korkmaz, S., Miller, V. & Sun, W. (2012) Assessing key dimensions to effective innovation implementation in Inter-organizational teams: An IPD Case. EPOC Conference, Working Paper Procs, The Netherlands
- Krippendorff, K. (1993). Major metaphors of communication and some constructivist reflections on their use. *Cybernetics & human knowing*, 2(1), 3.
- Kung, K. H., Ho, C. F., Hung, W. H., & Wu, C. C. (2015). Organizational adaptation for using PLM systems: Group dynamism and management involvement. *Industrial Marketing Management*, 44, 83-97.
- Landrieu, J. (2013). *Apport des réalités virtuelles et augmentées dans la planification et le suivi in situ de travaux de rénovation*. (Doctoral dissertation, Paris, ENSAM).
- Larousse (2018). *Complexe*. Dans dictionnaire Larousse (Édition Bicentenaire). Paris, France: Maison d'édition Française.
- Larousse (2018). *Compliqué*. Dans dictionnaire Larousse (Édition Bicentenaire). Paris, France: Maison d'édition Française.
- Leonardi, P. M., & Rodriguez-Lluesma, C. (2012). Sociomateriality as a Lens for Design: Imbrication and the constitution of technology and organization. *Scandinavian J. Inf. Systems*, 24(2), 4.
- Lindblad, H. (2013). *Study of the implementation process of BIM in construction projects*. (Master of science, KTH Royal Institute of Technology)
- Liston, K., Fischer, M., Kunz, J., & Dong, N. (2007). Observations of two MEP iRoom coordination meetings: An investigation of artifact use in AEC project meetings. *CIFE working paper*, 59.

- Littler, D., Leverick, F., & Bruce, M. (1995). Factors affecting the process of collaborative product development: a study of UK manufacturers of information and communications technology products. *Journal of Product Innovation Management: An international publication of the product development & management association*, 12(1), 16-32.
- Liu, S., Xie, B., Tivendal, L., & Liu, C. (2015). Critical barriers to BIM implementation in the AEC industry. *International Journal of Marketing Studies*, 7(6), 162-171.
- Macher, H. (2017). *Du nuage de points à la maquette numérique de bâtiment: reconstruction 3D semi-automatique de bâtiments existants* (Doctoral dissertation).
- Major, C. H., Savin-Baden, M., & Savin-Baden, M. (2013). *Qualitative research: The essential guide to theory and practice*. New York, NY: Routledge.
- Maletz, M., Eigner, M., & Zamazal, K. (2009). Issues of Today's Product Lifecycle Management (PLM): Challenges and Upcoming Trends to Support the Early Phases of the Product Development Process. In *ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (pp. 1227-1234). American Society of Mechanical Engineers Digital
- Marchand, M. P. (2011). *Élaboration et validation d'un questionnaire descriptif du processus inhérent au développement du jugement professionnel crédible*. (Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal, Québec). Repéré à <https://www.uqam.ca>
- Markus, M. L. & Silver S, M., (2008) *A Foundation for the Study of IT Effects:A New Look at DeSanctis and Poole's Concepts of Structural Features and Spirit*, Journal of the association for information systems, Special Issue, Volume 9, pp.609-632
- Matarneh, R., & Hamed, S. (2017). Barriers to the Adoption of Building Information Modeling in the Jordanian Building Industry. *Open Journal of Civil Engineering*, 7(03), 325.
- Messaadia, M., Baudry, D., Louis, A., Mahdikhah, S., Evans, R., Gao, J., ... & Mazari, B. (2016). PLM adoption in SMEs context. *Computer-Aided Design and Applications*, 13(5), 618-627.
- Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V., & Ustinovichius, L. (2013). The benefits, obstacles and problems of practical BIM implementation. *Procedia Engineering*, 57, 767-774.
- Mutai, A. (2009). *Factors influencing the use of Building Information Modeling (BIM) within leading construction firms in the United States of America*. Indiana State University.

- Nambisan, S. (Ed.). (2010). *Information technology and product development* (Vol. 5). Springer Science & Business Media.
- Nolan, R., & McFarlan, F. W. (2005). Information technology and the board of directors. *Harvard business review*, 83(10), 96.
- Numérique, P. D. P. T., & Pican, X. (2016). Mission « droit du numerique & batiment ».
- Orlikowski, W. J. (2000). Using technology and constituting structures: A practice lens for studying technology in organizations. *Organization science*, 11(4), 404-428.
- Paquet, M. (2016). Technique d'enquête et de sondage en psychologie : Cours 6, Échantillon et modalités d'envoi. Université du Québec à Montréal
- Poirier, E. A. (2015). *Investigating the impact of building information modeling on collaboration in the architecture, engineering, construction and operations industry*. (Doctoral dissertation, École de Technologies supérieures).
- Premkumar, G., & Potter, M. (1995). Adoption of computer aided software engineering (CASE) technology: an innovation adoption perspective. *ACM SIGMIS Database: the DATABASE for Advances in Information Systems*, 26(2-3), 105-124.
- Reefman, R. J., & Van Nederveen, G. A. (2012). Knowledge management in an integrated design and engineering environment. *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM*.
- Rogers, E. M. (2010). *Diffusion of innovations*. Simon and Schuster.
- Rogers, J., Chong, H. & Preece, C.(2015) Adoption of Building Information Modelling technology (BIM): Perspectives from Malaysian engineering consulting services firms, *Engineering, Construction and Architectural Management*, (22) 424-445. Repéré à <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2014-0067>
- Rondeau, A., Croteau, A. M., & Luc, D. (2005). Une appréciation empirique des enjeux technologiques et de transformation liée au déploiement de l'administration électronique au Québec. *Systèmes d'information et management*, 10(1), 63. Repéré à www.hec.ca/ceto
- Rosenberg, T. L. (2007). Building information modeling. *Roetzel & Andress, A Légal Professional Association*, Repéré à <http://www.ralaw.com/resources/documents/Building%20Information%20Modeling%20-%20Rosenberg.pdf>
- Saaksvuori, A., & Immonen, A. (2008). *Product lifecycle management*. Springer Science & Business Media.

- Sackey, E. (2014). *A sociotechnical systems analysis of Building Information Modelling (STSaBIM) implementation in construction organisations* (Thèse de doctorat, Loughborough University, Royaume-Uni). Repéré à <https://dspace.lboro.ac.uk/2134/15006>
- Sahil, A. Q. (2016). *Adoption of building information modeling in developing countries: A phenomenological perspective* (Doctoral dissertation, Colorado State University. Libraries).
- Sebastian, R. (2011). Changing roles of the clients, architects and contractors through BIM. *Engineering, construction and architectural management*.
- Seletsky, P. (2006). "Questioning the Role of BIM in Architectural Education: A Counter-Viewpoint," AECbytes Viewpoint #27. Repéré à http://www.aecbytes.com/viewpoint/2006/issue_27.html, accessed March 1, 2008.
- Stark, J. (2015). Product lifecycle management. In *Product lifecycle management* (Volume(pp. 1-29)). Springer, Cham.
- Statistique Canada. Tableau 36-10-0308-01. *Productivité du travail et variables connexes par industrie du secteur des entreprises, conformes au Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) et au Système de comptabilité nationale (SCN)*. Repéré à <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3610030801>
- Schuler, R. S., & Jackson, S. E. (1987). Organizational strategy and organization level as determinants of human resource management practices. *Human resource planning*, 10(3).
- Smith, P. (2014). BIM implementation—global strategies. *Procedia Engineering*, 85, 482-492.
- Su, H. (2013). Research on construction contract under BIM conditions. *Journal of Applied Sciences*, 13(19), 3926-3930.
- Su, H. (2013). Research on construction contract under BIM conditions. *Journal of Applied Sciences*, 13(19), 3926-3930.
- Taylor, J. E. (2007). "Antecedents of Successful Three-Dimensional Computer-Aided Design Implementation in Design and Construction Networks." *Journal of Construction Engineering and Management* 133(12): 993-1002
- Thomas, D.R. (2006). A general inductive approach for analyzing qualitative evaluation data. *American Journal of Evaluation*, 27(2), 237-246.

- Thompson, D. B., & Miner, R. G. (2006). Building information modeling-BIM: Contractual risks are changing with technology. *www document] URL http://www. aepronet.org/ge/no35. html.*
- Trist, E. (1981). The evolution of socio-technical systems. *Occasional paper, 2*(1981), 1981.
- Trudel, L., Simard, C., & Vonarx, N. (2006). La recherche qualitative est-elle nécessairement exploratoire?. *Recherches qualitatives, 5*, 38-55.
- Ussing, L. F., Svidt, K., & Wandahl, S. (2016). Legal aspects connected to the use of BIM inthe danish building sector. In *Construction Research Congress 2016* (pp. 528-537).