

L'intégration de la norme ISO19650 au processus de modélisation des informations de la construction (BIM) destinées à la gestion des actifs en contexte Québécois

par

Mathieu ROBITAILLE

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

M. Sc. A.

MONTRÉAL, LE 9 NOVEMBRE 2021

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Mathieu Robitaille, 2021



Cette licence [Creative Commons](#) signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Ali Motamedi, directeur de mémoire
Département génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Érik Poirier, codirecteur
Département génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Wahid Maref, président du jury
Département génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Sylvio Melhado, membre du jury
Département génie de la construction à l'École de technologie supérieure

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

LE 19 OCTOBRE 2021

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

L'intégration de la norme ISO 19650 au processus de la modélisation des informations de la construction (BIM) destinées à la gestion des actifs en contexte québécois

Mathieu ROBITAILLE

RÉSUMÉ

Les bénéfices apportés par l'utilisation de la modélisation des informations de la construction (BIM) lors des phases de conception et de construction des actifs n'est plus à démontrer. Ce sont cependant les donneurs d'ouvrages qui ont le plus à gagner de l'utilisation du BIM, pour l'opération et le maintien des actifs. Pourtant, peu de recherches se sont penchées sur le transfert des livrables numériques des projets BIM vers les gestionnaires d'actifs malgré la grande importance de ces livrables pour l'opération et le maintien des actifs.

Cette recherche vise à analyser le processus de gestion d'informations en prévision du livrable d'un actif numérique et à observer comment la norme internationale de gestion des données s'applique à un projet en contexte québécois. Elle est appuyée par une revue de littérature qui aborde les bénéfices du BIM en contexte post construction, les particularités de l'industrie québécoise de la construction, les enjeux reliés à l'implantation du BIM en contexte post construction, les concepts qui répondent aux enjeux reliés à l'implantation du BIM en contexte post construction et les actions qui contribuent à cadrer la gestion de l'information.

L'approche méthodologique de l'étude, inscrite dans une épistémologie constructiviste, est basée sur une récolte d'informations qualitatives auprès des acteurs impliqués dans le projet pilote qui fait figure d'étude de cas ainsi que sur des informations quantitatives relevées dans les documents du projet.

La recherche a permis de démontrer que l'application de la norme ISO 19650 fait face à de nombreux obstacles dû aux bouleversements que celle-ci occasionne, tant au niveau des relations entre parties prenantes qu'au niveau des concepts qui cadrent la production et la gestion des livrables.

Mots-clés : livrables numériques, BIM, gestion d'actifs, opération et maintien d'actifs

The integration of the ISO 19650 standard to the building information modeling process (BIM) intended for facility management within the context of Quebec

Mathieu ROBITAILLE

ABSTRACT

The benefits brought by using building information modeling (BIM) during the design and construction phases need no longer to be proven. It is however during the operation phase that building owners have the most to gain out of using BIM. Despite this, little research has been done concerning the handover of BIM projects towards asset managers.

The objective of this research is to analyse the process of managing information of a digital asset in preparation for handover and to observe how the international standard of information management is applied to a project in the context of Quebec. It is supported by a literature review that talks about the benefits of BIM applied post construction, the particularities of the Quebec construction industry, issues related to the implementation of BIM post construction, concepts that address issues related to the implementation of BIM post construction and actions that contribute to information management efforts.

The methodological approach of this research, based on a constructivist epistemology, relies on qualitative data collected upon stakeholders implicated in a pilot project used as a case study as well as on quantitative data taken from documents exchanged throughout the project.

Research demonstrated that the application of ISO 19650 faces many obstacles due to the changes it brings to relations between stakeholders and to the concepts production and management of deliverables.

Keywords: digital deliverables, BIM, asset management, operation and maintenance

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE	5
1.1. L'utilité du BIM face aux enjeux de la gestion des actifs.....	5
1.1.1. Répondre aux objectifs de maintien des actifs	7
1.1.2. Répondre aux objectifs stratégiques des propriétaires	8
1.1.3. Répondre aux besoins des utilisateurs.....	10
1.2. Les particularités québécoises de l'industrie de la construction.....	11
1.2.1. La grande fragmentation de l'industrie au Québec	11
1.2.1.1 Les effets de la réglementation sur la fragmentation de l'industrie	12
1.2.1.2 Les effets des modes contractuels sur le développement de l'innovation	14
1.2.1.3 Les effets du contexte géopolitique sur l'innovation dans l'industrie	15
1.2.2. Le rôle des donneurs d'ouvrages et des gouvernements face au virage numérique.....	17
1.3. Les enjeux reliés à l'implantation du BIM à la gestion des installations.....	20
1.3.1. Les défis légaux	21
1.3.2. Les défis technologiques	25
1.3.3. Les défis organisationnels	27
1.4. Répondre aux enjeux reliés à l'implantation du BIM-GEM	29
1.4.1. Un mode de réalisation adapté, axé sur la collaboration.....	29
1.4.2. L'interopérabilité des données et à la pérennité du BIM-GEM	31
1.4.3. La gestion du changement.....	32
1.5. Cadrer la gestion de l'information	34
1.5.1. Définir les informations exigées.....	36
1.5.2. Clarifier les tâches	39
1.5.3. Implanter un processus itératif et intégré de production numérique	41
1.5.4. Cadrer le processus de transfert numériques pour assurer leur pérennité.....	44
1.6. Synthèse de la revue de littérature.....	48
1.6.1. La norme ISO 19650 et la maturité de l'industrie	49
1.6.2. La norme ISO 19650 et le protocole d'informations appliqué aux contrats	50
1.6.3. La norme ISO 19650 et le profil de l'écosystème technologique	51
1.6.4. Les indicateurs d'application de la norme ISO 19650	52

CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE	53
2.1. Indicateurs d'application de la norme	55
2.1.1. L'environnement de données commun (CDE)	56
2.1.2. Les matrices d'exigences d'informations.....	56
2.1.3. La matrice de responsabilité.....	57
2.2. Minutes de réunions	58
2.3. Informations recueillies à l'aide du questionnaire et d'entrevues non structurées.....	58
CHAPITRE 3 CONTEXTE DE L'ÉTUDE DE CAS.....	61
3.1. Concept de locomotive numérique.....	61
3.2. Présentation du projet.....	62
3.3. Rôle des parties prenantes	63
3.4. Maturité BIM des parties prenantes	65
CHAPITRE 4 RÉSULTATS	67
4.1. Analyse des indicateurs de la norme.....	67
4.1.1. Analyse des exigences d'informations.....	67
4.1.2. Analyse de l'environnement de données commun (CDE).....	70
4.1.3. Analyse de la matrice de responsabilités	78
4.2. Analyse du modèle numérique.....	88
4.3. Analyse des minutes de réunion	92
4.4. Analyse des réponses au questionnaire.....	93
CHAPITRE 5 DISCUSSION	97
5.1. Effets de la norme sur le processus de travail.....	97
5.1.1. Changement du paradigme relationnel.....	97
5.1.2. Changement du paradigme de l'identité professionnelle	98
5.1.3. Changement du paradigme du livrable.	98
5.2. Limites de la recherche	99
CONCLUSION	101
RECOMMANDATIONS	103
ANNEXE I QUESTIONNAIRE.....	105
ANNEXE II TABLEAUX DES CAS D'USAGES.....	113
ANNEXE III SECTION 01 99 10 DU DEVIS.....	117

ANNEXE IV	TABLEAU COMPARATIF ENTRE LES RECOMMANDATIONS ISO 19650 ET LA PLATEFORME DE GESTION D'INFORMATIONS DU PROJET.....	121
	LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	123

LISTE DES TABLEAUX

	Page	
Tableau 1.1	Syndicalisation des ouvriers (pourcentage)	16
Tableau 1.2	Expérience des parties prenantes concernant l'utilisation ou la rédaction de documents structurant le processus BIM	50
Tableau 3.1	Résultat de l'auto-évaluation de maturité BIM des parties prenantes.....	65

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1 Quantité d'employés des entreprises du secteur de la construction au Québec	12
Figure 1.3 Liens entre les exigences d'informations	37
Figure 1.4 Exigences potentielles de données non géométriques.....	38
Figure 1.5 Liens entre parties désignantes et parties désignées selon ISO 19650-2	40
Figure 1.6 Cycle des livrables numériques au cours du cycle de vie de l'actifs selon ISO 19650.....	43
Figure 1.7 Processus de partage de l'information au sein du CDE selon ISO 19650	47
Figure 3.1 Vue axonométrique du modèle volumétrique du projet étudié	63
Figure 3.2 Organigramme des groupes de parties prenantes impliquées dans le projet ...	64
Figure 4.1 Processus de sélection des exigences d'information des actifs	69
Figure 4.2 Message automatisé généré par la plateforme Procore	72
Figure 4.3 Modules d'extension pour visualisation et coordination de modèles d'informations	72
Figure 4.4 Modules d'extension installés sur le CDE	73
Figure 4.5 Coordination de l'information à l'état partagé	74
Figure 4.6 Exemple de métadonnées liées à un conteneur de données	75
Figure 4.7 Informations structurées selon une logique d'avancement linéaire	76
Figure 4.8 Alerte automatisée de mise à jour des informations.....	77
Figure 4.9 Tableau des responsabilités des livrables sur la plateforme Procore	79
Figure 4.10 Le format BCF appliqué à la coordination des modèles numériques.....	80
Figure 4.11 Flux de coordination des modèles d'informations, intégré au CDE	81

Figure 4.12	Flux de coordination des modèles d'informations, séparé du CDE	82
Figure 4.13	Évolution du nombre de conflits identifiés et résolus	83
Figure 4.14	Disciplines à qui la responsabilité des conflits est assigné	84
Figure 4.15	Conflits résolus et laissés en suspend par architectes	84
Figure 4.16	Conflits résolus et laissés en suspend par ingénieurs électriques.....	85
Figure 4.17	Conflits résolus et laissés en suspend par ingénieurs mécaniques	85
Figure 4.18	Conflits résolus et laissés en suspend par ingénieurs de structure	86
Figure 4.19	Conflits non assignés à une discipline qui ont été résolus et laissés en suspend	86
Figure 4.20	Auteurs des signalements de conflits	87
Figure 4.21	Informations volumétriques et paramétriques de la quincaillerie absentes du modèle numérique.	89
Figure 4.22	Informations paramétriques de l'évier liées à la volumétrie de la robinetterie	90
Figure 4.23	Informations paramétriques liées à la volumétrie des chauffe-eaux.	91
Figure 4.24	Est-ce que vous avez eu à réaliser du travail en lien avec le BIM que vous n'aviez pas initialement prévu réaliser?	94
Figure 4.25	Est-ce que vous jugez qu'il manque des connaissances ou des ressources, à vous ou à votre équipe, afin de mieux réaliser votre travail dans un contexte de projet BIM?	95

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AIM	Asset Information Model
AIR	Asset Information Requirements
BAS	Building Automation System
BIM	Building Information Modeling
BIM-GEM	Building Information Modeling for Facility Management
BIM-GEM	Building Information Modeling pour la Gestion Exploitation et Maintenance
CAFM	Computer Aided Facility Management
CAPEX	Capital Expenditure
CDE	Common Data Environment
CMMS	Computerized Maintenance Management System
EIR	Exchange Information Requirements
FM	Facility Management
GEM	Gestion de l'exploitation et du maintien
GMAO	Gestion de maintenance assistée par ordinateur
IBC	Institut pour le BIM au Canada
IFC	Industry Foundation Class
IFMA	International Facility Management Association
IOT	Internet Of Things
ISO	Organisation internationale de normalisation
IWMS	Integrated Workplace Management System
LOD	Level Of Detail
LOD	Level Of Development

NIST	National Institute of Standards and Technology
OIR	Organisational Information Requirements
OPEX	Operational Expenditure
PGB	Plan de gestion BIM
PIB	Produit intérieur brut
PIR	Project Information Requirements
RACI	Responsible, Accountable, Consulted, Informed
ROI	Return On Investment
RPI	Réalisation de projet intégré
SQI	Société québécoise des infrastructures
TQC	Tel que construit

INTRODUCTION

La gestion des actifs est définie par l'organisation internationale de standardisation (ISO) comme étant tout processus appliqué à un environnement bâti afin d'en améliorer ses performances financières, réduire son empreinte environnementale, maintenir sa fonctionnalité, maintenir sa conformité avec les codes de sécurité en vigueur, optimiser ses coûts d'opération, préserver son utilité et projeter une image qui correspond à l'organisme qui l'occupe (International Organization for Standardization, 2017).

L'atteinte de ces objectifs exige la contribution de compétences diversifiées et une approche intégrée (Tay & Ooi, 2001). La nécessité de puiser de l'information auprès de différentes disciplines demande au gestionnaire d'actifs de briser les silos d'informations qui empêchent habituellement la fluidité des communications entre parties prenantes (Cotts, Roper, & Payant, 2010). La gestion d'informations représente donc une facette importante de la gestion d'actifs et l'utilisation d'une plateforme commune de gestion d'informations permet d'éviter un processus de travail fragmenté pour le gestionnaire d'actif (Tay & Ooi, 2001). Dans l'industrie de la construction, la gestion de l'information est facilitée par l'utilisation de modèles d'informations.

La norme internationale qui cadre la gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction (ISO 19650) définit la modélisation de l'information de la construction (*building information modeling*, BIM) comme étant la « représentation numérique partagée d'un actif » (International Organization for Standardization, 2018b). Cette représentation numérique intègre les informations pertinentes à l'ensemble du cycle de vie de l'actif (Talamo & Bonanomi, 2015). Il s'agit donc d'une base d'informations fiable qui permet aux parties prenantes de prendre des décisions éclairées au sujet de l'actif concerné (International Organization for Standardization, 2018b). L'information que l'on retrouve dans un projet BIM peut être exprimée sous trois formes (Succar, Saleeb, & Sher, 2016). Il y a : les documents, qui sont des informations contenues dans des médiums numériques, les modèles, qui sont des représentations tridimensionnelles d'informations

propres à un système et les données, qui sont des séquences de symboles relevés via différents instruments de mesure (Succar & Poirier, 2020).

L'aspect « partagé » de la représentation numérique, mentionné dans la définition du BIM citée ci-haut, implique que le processus de partage fait partie du BIM au même titre que le modèle d'information lui-même (Sacks, Eastman, Lee, & Teicholz, 2018). La centralisation de l'accès à l'information et l'établissement de liens de dépendance entre ces informations font de l'utilisation du BIM l'occasion d'optimiser la collaboration entre parties prenantes et contribue à briser les silos qui fragmentent l'industrie de la construction (Talamo & Bonanomi, 2015). En plus de favoriser la collaboration entre parties prenantes, la norme de gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction (ISO 19650) permet aussi de faciliter la transition de l'information d'une phase du cycle de vie de l'actif à l'autre. Cette norme a donc le potentiel de jouer un rôle clé dans la compréhension que se font les parties prenantes des besoins du donneur d'ouvrage et dans la façon avec laquelle les informations nécessaires au fonctionnement des actifs sont produites et cheminées vers les gestionnaires d'actifs.

Étant donné la grande influence que peut avoir la norme ISO 19650 sur l'intégration du BIM à la gestion des actifs, il est naturel que la question de recherche se penche sur la façon avec laquelle elle est appliquée au cours de la réalisation du projet. La question suivante : « Quel est l'apport de la norme ISO 19650, lors des activités de production et de transfert des livrables numériques, entre la phase de construction et celle d'exploitation de l'actif en contexte québécois » invite à considérer les facteurs externes qui ont potentiellement une influence sur l'intégration du BIM à l'industrie de la construction et fixe comme objectif d'identifier ce que l'implémentation de la norme ISO 19650 apporte au niveau du processus de travail des parties prenantes au Québec. Pour y arriver, il sera nécessaire d'atteindre les sous-objectifs suivants :

1. Répertorier les facteurs influents externes qui sont susceptibles de représenter des enjeux pour l'implantation de la norme 19650 en contexte québécois, tels que les facteurs politiques, économiques, sociaux, technologiques, environnementaux et légaux;

2. Identifier des indicateurs d'application de la norme afin de constater quelles actions concrètes proposées par la norme ont été posées par les parties prenantes;
3. Analyser les documents qui témoignent des interactions entre les parties prenantes du projet afin de comprendre comment elles se sont adaptées aux changements suggérés par la norme.

Le cas qui fait l'objet de cette étude est un projet pilote. L'intégration du BIM à l'ensemble du cycle de vie d'un projet de construction est une entreprise peu commune dans l'industrie québécoise de la construction et l'intégration de la norme ISO 19650 au processus de travail des parties prenantes n'a pas encore été documenté au Québec. L'aspect expérimental du projet, ainsi que la complexité des dynamiques relationnelles entre parties prenantes justifient l'utilisation de la méthodologie d'étude de cas. À l'instar de la norme ISO 19650, qui couvre l'ensemble du cycle de vie du projet, l'étude s'intéresse à l'intégralité des parties prenantes du projet. Les gestionnaires d'actifs, ainsi que les architectes, les ingénieurs, les entrepreneurs et les sous-traitants sont tous questionnés au sujet de leur expérience avec l'intégration de la norme à leur processus de travail.

Une attention particulière est portée aux livrables dédiés à la gestion des actifs puisque c'est au moment de la transition entre la phase de construction et la phase des opérations que les plus grandes pertes d'informations ont lieu (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011). De plus, il a été rapporté que le transfert de spécifications d'équipements de l'entrepreneur vers les gestionnaires d'actifs peut demander plus de trois ans de travail à un individu lorsqu'effectué de façon traditionnelle, dans le cas d'un projet majeur de type institutionnel (Medellin, Dominguez, Cox, Joels, & Billante, 2010).

L'utilité escomptée de cette recherche est d'évaluer le rôle que joue la norme ISO 19650 dans la fluidité des informations destinées à la gestion des actifs en contexte québécois. Une meilleure compréhension des dynamiques qui affectent l'application de la norme permettra de formuler des recommandations afin de mieux préparer les parties prenantes à faire face aux défis que cela implique et, conséquemment, à mieux intégrer le BIM à la gestion des

actifs au Québec. Conséquemment, cette étude demeure contextuelle et d'autres cas devront être étudiés afin de confirmer les tendances observées au cours de cette recherche.

Ce mémoire est divisé en cinq chapitres. Le premier est dédié à la revue de littérature, qui aborde les concepts théoriques qui supportent cette recherche. Cette section met en évidence la contribution du BIM à la gestion de l'exploitation et de la maintenance (GEM), introduit les enjeux de l'intégration du BIM à la GEM, explique comment faire face à ces enjeux et démontre comment une bonne gestion de l'information est l'élément commun aux solutions d'intégration du BIM à la GEM. C'est également dans la revue de littérature que les spécificités qui caractérisent le contexte québécois de l'industrie de la construction sont décortiquées. Il s'agit d'une étape importante pour l'atteinte du premier sous-objectif, mentionné ci-haut.

Le deuxième chapitre est consacré à la méthodologie qui cadre la collecte des données. L'identification des artefacts à étudier (qui est le second sous-objectif de la recherche), l'échantillonnage des parties prenantes, les sources de données considérées et le contenu des questionnaires sont discutés dans cette section.

Le troisième chapitre introduit le contexte de réalisation de l'étude de cas. Cette section identifie certaines particularités propres aux projets innovants qui peuvent potentiellement être des pistes à explorer au niveau de l'identification des enjeux du projet.

Le quatrième chapitre du mémoire détaille les données obtenues et fait état des analyses afin de faire ressortir les constats. C'est dans ce chapitre que le troisième sous-objectif, mentionné précédemment, est atteint.

Le cinquième chapitre cadre les éléments de réponse qui permettent d'atteindre l'objectif principal de la recherche. S'ensuit une proposition de réponse à la question posée en introduction du mémoire. Une discussion concernant les limitations de la recherche ainsi que les avenues à explorer lors de recherches ultérieures est entreprise.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

1.1. L'utilité du BIM face aux enjeux de la gestion des actifs

Malgré le fait que le BIM soit de plus en plus implanté dans les phases de conception et de construction, son utilisation au service de la gestion des actifs demeure rare (Dixit, Venkatraj, Ostadalimakhmalbaf, Pariafsai, & Lavy, 2019). C'est pourtant lors de la phase de gestion des actifs que la majorité des avantages économiques potentiels provenant de l'utilisation du BIM ont l'occasion de se concrétiser (Azhar, Khalfan, & Maqsood, 2012). Si l'on considère l'ensemble du cycle de vie d'un bâtiment, 66 à 85% de toutes les dépenses qui y sont liées se font après la phase de construction (Miettinen, Kerosuo, Metsälä, & Paavola, 2018). Il y a donc un grand potentiel d'économies à faire, dès la livraison de l'actif. En effet, le National Institute of Standards and Technology (NIST) a estimé que les propriétaires et gestionnaires d'actifs perdent plus de 10,6 milliards de dollars par année (Gallaher, O'Connor, Dettbarn, Jr., & Gilday, 2004), aux États-Unis seulement, à cause de pertes d'informations ou de manque d'interopérabilité entre les livrables de l'entrepreneur et les systèmes de gestion de maintenance assisté par ordinateur (GMAO).

L'adoption d'un processus de gestion d'information sur l'ensemble du cycle de vie de l'actif va de pair avec le fait que la communication est identifiée par le International Facility Management Association (IFMA) comme étant la compétence principale requise pour la gestion des actifs (Cotts et al., 2010). Traditionnellement, cette communication est freinée par le travail en silo des parties prenantes de l'industrie. Le BIM permet de briser ces silos en partageant l'information du projet de façon structurée, fiable et centralisée, ce qui en fait le candidat idéal pour contrer les pertes financières reliées aux pertes d'informations lors des transitions entre les phases du cycle de vie des actifs.

Concrètement, le BIM-GEM facilite la communication de l'information en normalisant l'organisation des données, en récoltant les données en temps réel via des capteurs, en saisissant les données de façon systématique, en facilitant le transfert des données entre parties prenantes et en accroissant la mobilité des données (GSA, 2011 ; IFMA, 2013). L'optimisation du processus de partage de l'information facilite le travail des gestionnaires d'actifs en leur permettant de prendre des décisions informées, en réduisant le temps consacré à la recherche d'informations, en permettant un meilleur suivi de maintenance et de modifications du bâtiment, en améliorant la fiabilité des données, en facilitant la visualisation de l'information et en facilitant la validation des normes et codes en vigueur. Ces avantages et bénéfices ne permettent pas seulement de réduire les coûts d'opérations et le coût des transactions, mais également d'augmenter la valeur perçue de l'actif en optimisant son efficacité opérationnelle, en améliorant sa durabilité et sa qualité et en répondant mieux aux besoins des utilisateurs (Department of Transport and Main Roads, 2017).

Ne plus uniquement considérer la valeur d'un actif en fonction de sa valeur monétaire, mais également en fonction de l'efficacité de son utilisation et de la satisfaction de ses occupants, change le paradigme du concept de retour sur investissement (ROI). Reconnaître qu'un bâtiment opéré de façon efficace et de façon à mieux répondre à son utilité visée justifie les investissements de temps et d'argent nécessaires à l'implantation du BIM (Latiffi & Tai, 2019). La valeur ajoutée qui découle d'une opération efficiente pousse les organisations à concentrer de plus en plus leur attention sur les coûts d'exploitation (OPEX) et leur capacité à faire croître la valeur de l'actif, plutôt qu'uniquement se fier aux dépenses en capital (CAPEX) et au maintien de la valeur de l'actif (Ashworth, Druhmann, & Streeter, 2019). En récoltant et en intégrant les informations en lien avec l'utilisation des actifs, les gestionnaires d'actifs sont mieux en mesure de contribuer à l'atteinte des objectifs stratégiques des organisations qui occupent les bâtiments. Une bonne gestion des informations destinées à l'opération et au maintien des actifs aide à maintenir un environnement bâti flexible et permet de rester à l'affût des opportunités d'affaires pour les propriétaires d'actifs et pour ses occupants (Wijekoon, Manewa, & Ross, 2018).

Une recherche réalisée aux États-Unis par Olbina et Elliott démontre que les bénéfices du BIM touchent l'ensemble des parties prenantes, de la phase de conception jusqu'à la phase d'opération, et tous les types de projets, petits et gros (Olbina & Elliott, 2019). En plus de se partager les avantages du BIM, les acteurs du projet se partagent les risques, diminuant ainsi l'envergure des pertes financière potentielles (Zheng, Lu, Chen, Chau, & Niu, 2017). Pour ce qui est spécifiquement du BIM-GEM, les informations vont contribuer à répondre aux besoins des principales parties prenantes impliquées dans la phase d'opération et de maintien des actifs. Les propriétaires d'actifs, les gestionnaires d'actifs et les utilisateurs de ces actifs vont tous bénéficier d'une bonne gestion de l'information (Hosseini, Roelvink, Papadonikolaki, Edwards, & Pärn, 2018).

1.1.1. Répondre aux objectifs de maintien des actifs

Les gestionnaires d'actifs doivent répondre à deux objectifs qui semblent à première vue incompatibles : améliorer la fiabilité des actifs tout en réduisant les coûts d'opérations. Les opérations de maintien sont nécessaires pour préserver l'intégrité et la fiabilité des actifs, mais les coûts qui y sont reliés doivent rester le plus bas possible afin de générer un retour sur investissements élevé. L'atteinte de ces objectifs est possible grâce à l'optimisation de la gestion des actifs (Osztermayer, Zhang, & Feser, s.d.). L'intégration du BIM-GEM à la gestion des actifs permet d'améliorer les processus de gestion des données, rendant les opérations plus efficientes et réduisant ainsi les coûts de maintien de l'actif (Zou, Kiviniemi, & Jones, 2017). Ceci est dû au fait que le BIM-GEM facilite l'accès à des données à jour et récoltées en temps réel (Becerik-Gerber, Jazizadeh, Li, & Calis, 2012) (Atazadeh, Kalantari, Rajabifard, Ho, & Champion, 2017). Utiliser de l'information de qualité facilite le suivi des équipements et contribue à réduire la maintenance corrective en plus d'améliorer l'efficience des interventions lors des situations d'urgence (Cheng, Chen, Chen, & Wang, 2020). L'adoption d'une stratégie de maintenance préventive est d'ailleurs un objectif clé pour réduire les coûts de maintenance (Edirisinghe, London, Kalutara, & Aranda-Mena, 2017).

Concrètement, le BIM-GEM permet, entre autres, aux équipes d'entretien de mieux classer les informations en lien avec la maintenance de l'actif, afficher des données issues de capteurs en temps réel, tenir un inventaire précis de l'équipement à la disposition des équipes de maintien et visualiser l'information de façon rapide et compréhensive (Motamedi, Robitaille, Poirier, & Forgues, 2020). Les liens relationnels entre les données permettent d'identifier des tendances reliées à l'usure qui affecte les systèmes mécaniques. La centralisation des données permet de faire des corrélations entre les rapports d'inspection et les données recueillies en temps réel. La facilité d'accès à l'information numérique rend l'émission et le suivi des bons de travail particulièrement efficace (Pishdad-Bozorgi, Gao, Eastman, & Self, 2018). L'orientation spatiale intuitive, rendue possible par l'information géométrique de l'actif, permet de localiser rapidement les lieux d'intervention et est une des fonctions les plus utilisées du BIM-GEM (Shen, Jiang, Grosskopf, & Berryman, 2012).

Dans l'ensemble des cas d'usages, l'objectif du BIM-GEM est de permettre au gestionnaire de prendre des décisions informées concernant la gestion des actifs et de définir les stratégies adéquates à adopter afin de répondre aux besoins présents et futurs des parties prenantes impliquées dans l'opération, le maintien ou l'utilisation de l'actif (Bossé & Rogova, 2019) (Baskarada & Koronios, 2013).

1.1.2. Répondre aux objectifs stratégiques des propriétaires

En plus de maintenir l'intégrité de l'actif et de préserver sa valeur, le BIM-GEM a le potentiel de devenir un vecteur de création de valeur. Pour se faire, le BIM et les technologies qui le supportent doivent s'aligner avec les stratégies de l'organisation propriétaire de l'actif afin d'implanter une stratégie cohérente de gestion des actifs et de répondre aux besoins des propriétaires (H. Cavka, Staub-French, & Pottinger, 2015). Les organisations propriétaires ont donc la responsabilité de définir les besoins organisationnels si ils s'attendent à ce que le BIM contribue à l'atteinte de leurs objectifs (Munir, Kiviniemi, & Jones, 2019). En absence d'exigences claires par le propriétaire pour des informations en lien avec les exigences d'information de l'organisation (OIR), il devient très difficile de

formuler les exigences d'information d'actifs (AIR). Sans exigences adéquatement formulées, les informations contenues dans le modèle d'information de l'actif (AIM) risquent fortement de ne pas être alignées avec les besoins réels des propriétaires (International Organization for Standardization, 2018b). Afin d'assurer l'alignement entre les besoins stratégiques, le BIM et la technologie qui le supporte, il est recommandé que les propriétaires formulent adéquatement les besoins de l'organisation et s'impliquent dans toutes les phases du projet via la présence de spécialistes BIM qui veillent à leurs intérêts (Pishdad-Bozorgi et al., 2018). En s'impliquant en amont du projet, les propriétaires sont mieux équipés pour prendre des décisions informées en fonction de leurs objectifs et de faire croître la valeur de leurs biens (Kim, Hadadi, Kim, & Kim, 2018).

Munir et al. identifie six notions de valeur qui influencent la valeur ajoutée du BIM et, du même coup, la valeur perçue de l'actif. Ces six notions sont: la valeur de gestion stratégique de l'actif; la valeur commerciale de l'actif; la valeur reliée à l'efficience de l'actif; la valeur industrielle de l'actif; la valeur issue des usagers de l'actif et la valeur technologique de l'actif (Munir, Kiviniemi, Finnegan, & Jones, 2019).

La gestion stratégique de l'actif concerne la capacité d'aligner la gestion des tâches d'opération et de maintien avec les objectifs stratégiques des propriétaires à l'aide de données accessibles et utilisables. La valeur commerciale concerne la capacité de réduire ou d'éviter les coûts de maintien ou d'opération. La valeur provenant de l'efficience concerne la capacité d'ajuster l'utilisation de l'actif en fonction des besoins. La valeur industrielle de l'actif concerne la capacité de saisir les opportunités de collaboration entre parties prenantes et de développer de nouveaux types de relations professionnelles en contexte d'opération et de gestion de l'actif. La valeur provenant des usagers est liée à l'efficience accrue des occupants de l'actif et la contribution de ceux-ci aux données d'utilisation. Finalement, la valeur technologique de l'actif provient de la capacité à pouvoir utiliser des données à jour et de visualiser l'information nécessaire à l'atteinte des objectifs, selon les besoins de chacun (Munir, Kiviniemi, Finnegan, et al., 2019).

1.1.3. Répondre aux besoins des utilisateurs

Tel que discuté précédemment, le BIM-GEM apporte d'importants avantages économiques aux propriétaires et aux gestionnaires d'actifs. Il est cependant important de souligner qu'il contribue également au bien-être des utilisateurs du bâtiment en favorisant l'opération optimale de l'actif en fonction de son utilisation réelle. En ce sens, la gestion d'actifs se rapproche du domaine de la gestion de services, qui vise à produire une expérience pour un client (Coenen & von Felten, 2014). L'optimisation des opérations contribue donc également au confort des usagers de l'actif (Nguyen & Aiello, 2013). Pour y arriver, les gestionnaires d'actifs effectuent des décisions qui se basent sur de l'information provenant du BIM ainsi que sur des paramètres variés, recueillis en temps réel par des capteurs. Quelques exemples de ces paramètres continuellement mis à jour sont: le niveau d'humidité; la température; l'intensité lumineuse; la consommation d'eau; la consommation d'électricité; la vitesse du vent ou les heures d'ensoleillement (Gudnason & Scherer, 2012).

En plus de veiller au confort des usagers, le BIM-GEM contribue à maintenir un espace sécuritaire pour ses occupants, un environnement sain pour la communauté dans laquelle s'inscrit le bâtiment et un lieu de travail enrichissant pour ceux qui y travaillent ou qui sont responsables du maintien des lieux. Les gestionnaires utilisent en effet le BIM-GEM pour assurer la sécurité des occupants et gérer les plans d'urgences, pour gérer la consommation énergétique et réduire l'impact environnemental de l'actif ainsi que pour former le personnel responsable de l'opération et de l'entretien de l'actif et de les assister dans leurs tâches (Edirisinghe et al., 2017).

Les utilisateurs sont appelés à améliorer leur propre expérience en informant les gestionnaires de leurs habitudes d'occupation des espaces. Dans ce cas, des données en lien avec les activités qui ont lieu au sein de l'actif peuvent être échangées entre les occupants et les bases de données des systèmes de gestion d'actifs automatisés (Halmetoja, 2019) (Kang & Choi, 2015) afin de placer l'humain, et ses besoins, au centre des préoccupations de l'opération des actifs.

Placer l'humain au centre d'un processus qui utilise la technologie comme outil principal pour atteindre des objectifs économiques et sociaux est le concept de base de ce que les japonais nomment la société 5.0 (Ito, 2019). Appliqué à grande échelle, l'intégration des données provenant de lieux physiques avec les modèles d'informations de leur pendants numériques (jumeaux numériques) a le potentiel d'informer les décideurs au sujet d'actions pouvant impacter la société au-delà du secteur économique (Shiroishi, Uchiyama, & Suzuki, 2018).

1.2. Les particularités québécoises de l'industrie de la construction

Avant d'en arriver à une société 5.0, qui intègre la résolution des problèmes sociaux à des objectifs de croissance économique via le partage d'informations dans l'ensemble de la société, le Québec se doit de répondre aux attentes de l'industrie 4.0, qui vise une croissance économique via le partage d'informations et l'exploitation de métadonnées dans le secteur industriel (Oesterreich & Teuteberg, 2016).

En plus des défis universels reliés au partage d'informations, qui seront discutés au point 2.3, certaines particularités régionales peuvent influencer comment les secteurs industriels vont faire face aux efforts d'adoption du virage numérique, qui vise à numériser les processus de communication et optimiser le partage d'informations entre parties prenantes.

1.2.1. La grande fragmentation de l'industrie au Québec

La fragmentation au sein de l'industrie de la construction est un phénomène universel. Tel qu'illustré à la figure 1.1, l'industrie de la construction du Québec est principalement composée de petites entreprises formées par moins de six employés.

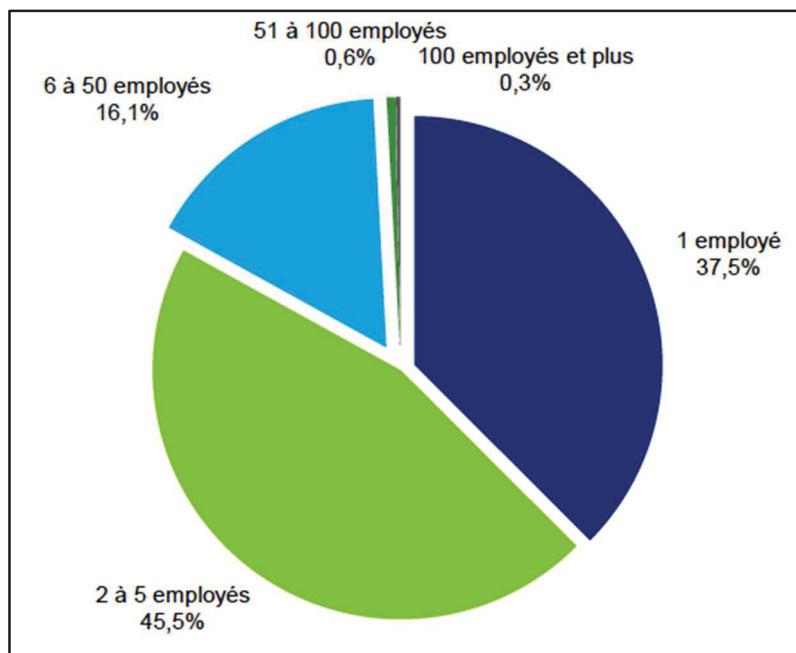


Figure 1.1 Quantité d'employés des entreprises du secteur de la construction au Québec
Tirée de Dorval (2016)

La complexité des projets de construction peut également accentuer cette fragmentation. La complexité des projets et les exigences de performance élevées requiert une quantité croissante de spécialistes pour leur réalisation. Cette fragmentation se fait non seulement au niveau du processus de réalisation du projet, qui se morcelle en phases distinctes de design et de construction, mais également au niveau de la grande quantité de parties prenantes impliquées dans chacune de ces phases (Mohd Nawi, Baluch, & Bahauddin, 2014). La forte réglementation de l'industrie, les habitudes contractuelles et la particularité géopolitique de la province font du Québec un endroit où la fragmentation de l'industrie de la construction est particulièrement grande et confèrent certaines particularités aux dynamiques de travail des entreprises impliquées dans les projets.

1.2.1.1 Les effets de la réglementation sur la fragmentation de l'industrie

Au Canada, l'industrie de la construction est fortement légiférée par l'état et cadrée par les organisations professionnelles (Seaden & Manseau, 2001). De toutes les provinces

canadiennes, le Québec est l'endroit qui réglemente le plus de métiers (Heinrichs, 2015). L'industrie de la construction à elle-seule compte 25 métiers réglementés au Québec, alors qu'aucune autre province n'en a plus que 11 et les États-Unis en ont 14 (Dorval, 2016). Le système politique sur lequel le pays est construit joue un rôle important dans ce manque de cohésion. Le Canada étant une fédération, tel que les États-Unis, l'Allemagne ou l'Australie, plusieurs responsabilités administratives sont décentralisées et confiées à des structures politiques d'ordre régionales. Ceci explique pourquoi le cadre réglementaire de l'industrie québécoise répond avant tout aux intérêts locaux et ne se préoccupe pas d'uniformiser ses pratiques avec l'ensemble du pays, comme le ferait une république, tel que le Japon, la France ou les Pays-Bas (Seaden & Manseau, 2001).

L'exigence des gouvernements provinciaux en matière d'attestations de compétences pour l'exécution de certains types de travaux spécialisés a pour objectif de contrôler la qualité des travaux et de protéger le public. La multiplication des métiers réglementés a cependant également l'effet de réduire le bassin d'ouvriers autorisés à exécuter certains travaux et à limiter la compétition pour ces secteurs (Heinrichs, 2015). Ceci a le potentiel de créer une dépendance envers certains ouvriers et à leur conférer une influence disproportionnée par rapport aux efforts d'implantation de nouvelles normes de construction (Calvert, 2014). De plus, la grande quantité de métiers spécialisés impose la multiplication d'instances de sous-traitance, ouvrant la porte à une fragmentation encore plus grande des processus de construction ainsi qu'à des problèmes de communication, de coordination et de collaboration (Riazi, Zainuddin, Nawi, & Lee, 2020).

En plus de devoir se conformer à une grande quantité de réglementations, les projets de construction doivent répondre à des lois et règlements issus de différents paliers de gouvernance. Ces particularités locales, tel que le code national du bâtiment, les demandes d'inspections et les exigences de garanties limitent l'ouverture du marché à des joueurs extérieurs et réduisent la concurrence entre parties prenantes (Boulenger & Joanis, 2015).

1.2.1.2 Les effets des modes contractuels sur le développement de l'innovation

La fragmentation de l'industrie est fortement reliée au mode contractuel traditionnel, qui est une approche par « conception-soumission-construction ». Ce processus met en place une structure relationnelle hiérarchique entre les parties prenantes des projets et accentue la fragmentation au sein de la chaîne d'approvisionnement (Havenveld, Holmen, Linné, & Pedersen, 2017).

Le mode contractuel traditionnel est le type de relation contractuelle la plus utilisée dans l'industrie de la construction au Québec (Dorval, 2016). Ce type de contrat a pour effet de former des équipes projet éphémères, dissoutes après chaque réalisation. Dans un tel contexte, le transfert de connaissances d'une équipe projet à l'autre est hypothéquée et la courbe d'apprentissage de l'industrie s'en trouve affectée (Peters, Johnston, Pressey, & Kendrick, 2010). Il va sans dire que ceci complique la capacité d'implanter de nouveaux processus de travail et de nouvelles technologies dans l'industrie.

Au-delà du mode contractuel adopté, le mode d'adjudication utilisé pour octroyer les contrats a également tendance à affecter l'innovation et l'adoption de processus avant-gardistes. Pour la majorité des projets publics québécois, il est prescrit par la loi que l'adjudication des contrats doit se faire à l'offre de service conforme présentant le prix le plus bas. Cette exigence est de mise dans plusieurs lois et règlements, tel que la *Loi sur les cités et villes* (Gouvernement du Québec, 2020a) et le *Règlement sur les contrats de travaux de construction des organismes publics* (Gouvernement du Québec, 2020b). Il s'agit d'une particularité unique en Amérique du nord puisqu'ailleurs au Canada, ainsi qu'aux États-Unis, la qualité des propositions est un critère qui constitue jusqu'à 90% des points attribués lors de l'évaluation des soumissions (Fédération des chambres de commerce du Québec, 2020).

En optant de facto pour les prix les plus bas conformes, sans égard à la qualité des propositions, les donneurs d'ouvrages publics créent de la pression auprès des entrepreneurs pour que ceux-ci soumettent des prix inférieurs aux prévisions réalistes. Les entrepreneurs

ont pourtant une expertise en estimation des coûts et en exécution des travaux. Afin de mitiger les risques associés à des soumissions aussi basses, ils adoptent donc des stratégies qui affectent la qualité des projets et la transparence des relations entre parties prenantes afin de gagner les contrats. En effet, le mode d'adjudication du prix conforme le plus bas a pour conséquence d'encourager les entrepreneurs à réaliser des travaux selon des standards de qualité moindres et pousse les parties prenantes à espérer des dépassements de coûts, payés sous forme de généreux avenants (Fédération des chambres de commerce du Québec, 2020). En intégrant des critères de qualité dans l'évaluation des soumissions, les soumissionnaires auraient davantage tendance à proposer des solutions innovantes axées sur des bénéfices à long terme (Québec (Province), Commission d'enquête sur l'octroi et la gestion des contrats publics dans l'industrie de la construction, Charbonneau, Lachance, & Bibliothèque numérique canadienne (Firme), 2016).

1.2.1.3 Les effets du contexte géopolitique sur l'innovation dans l'industrie

L'emplacement géographique du Québec, sa démographie et sa politique économique entraînent des répercussions sur l'état de l'industrie de la construction et lui confèrent des particularités qui lui sont propres. La pénurie de la main d'œuvre sur les chantiers, la fermeture du marché de la construction aux entreprises étrangères et une industrie pauvre en innovations sont des aspects symptomatiques de ces particularités, qui ont pour effet de créer un déséquilibre relationnel entre les parties prenantes de l'industrie.

Démographiquement, le Québec représente la province Canadienne la plus vieillissante, créant une réduction accélérée des ouvriers spécialisés « traditionnels », tel que ceux que l'on retrouve sur les chantiers de construction (Dorval, 2016). Au moment de leur retraite, les ouvriers spécialisés ne sont pas remplacés en quantité suffisante. La forte variation saisonnière des températures québécoises force une partie de la main d'œuvre qui travaille sur les chantiers à réclamer des allocations de chômage pendant l'hiver. Les ouvriers n'ayant pas cumulé suffisamment d'heures de travail peuvent même se voir refuser toute compensation. Il s'agit d'une condition qui peut décourager de nombreux ouvriers potentiels

à choisir ces professions (Grant, 2003). De plus, les ouvriers spécialisés affectés par ces arrêts forcés sont de plus en plus convoités par les entreprises actives dans les pays émergents. Leur exode a pour effet d'augmenter la pénurie de main d'œuvre sur les chantiers du Québec (Dorval, 2016).

Le manque de mobilité des travailleurs est également un facteur qui accentue la pénurie de la main d'œuvre au Québec. La mobilité de la main-d'œuvre dans l'industrie de la construction est règlementée depuis 1977 et tient compte des conventions collectives entre les associations patronales et syndicales. La syndicalisation des ouvriers dans l'industrie de la construction est particulièrement élevée au Québec, par rapport aux autres provinces canadiennes, tel qu'en fait état le tableau 1.1.

Tableau 1.1 Syndicalisation des ouvriers (pourcentage)
Tiré de Calvert (2014)

Province	1997	2000	2003	2006	2009	2012
Newfoundland & Labrador	25.71	27.27	20.78	27.10	26.62	31.95
Prince Edward Island	20.59	13.79	19.35	13.95	17.95	23.68
Nova Scotia	38.16	26.97	22.78	26.40	23.98	28.99
New Brunswick	27.78	29.41	20.00	21.74	29.72	25.13
Quebec	48.48	50.11	56.25	57.69	57.80	59.30
Ontario	32.62	32.42	32.99	29.52	30.51	31.51
Manitoba	22.56	21.47	17.34	27.83	22.48	22.22
Saskatchewan	22.86	24.66	23.31	22.01	17.67	21.60
Alberta	17.19	21.04	21.67	18.78	19.29	19.38
British Columbia	31.31	31.77	30.51	25.02	20.35	21.89
All Canada Union Coverage	32.39	32.53	34.19	31.67	31.23	32.76

Ce règlement privilégie l'embauche des travailleurs spécialisés en fonction de leur région de résidence (Commission de la construction du Québec, 2016). Ceci a pour effet de réduire considérablement la compétition, et de limiter l'accès de certaines entreprises spécialisées à

certains marchés. Cette réglementation complique également le processus d'embauche des entreprises étrangères qui souhaitent soumissionner au Québec (Flynn, Gauthier, Lamarre, Lefebvre, & Matteau, 2011). L'isolement géographique des travailleurs causé par leur manque de mobilité et l'isolement économique causé par la spécialisation des métiers renforcent les effets des particularités saisonnières du Québec sur l'industrie de la construction (Gouvernement du Québec, 2018). Le rapport entre l'offre et la demande s'en trouve bouleversé. La pénurie de travail est accentuée pour les ouvriers et les entreprises situés dans les régions où il y a peu de chantiers et la pénurie de main d'œuvre est accentuée pour les donneurs d'ouvrage qui souhaitent construire dans les secteurs en développement.

En plus des règlements mentionnés ci-haut, certaines positions politiques limitent les échanges économiques avec les autres provinces ou avec les autres pays et limite la mobilité des travailleurs via des mesures restrictives ou discriminatoires (Grosso, Jankowska, & Gonzales, 2008). Tel est le cas pour le manque de reconnaissance des compétences étrangères, les avantages fiscaux réservés aux entreprises locales, les appels d'offres unilingues francophones ou l'obligation d'utiliser des ressources locales (Boulenger & Joanis, 2015). Cette dynamique protectionniste régionale doit cependant trouver un équilibre avec une libéralisation des marchés à l'échelle nationale afin que les industries canadiennes puissent mieux gérer leur relation avec les marchés internationaux (Fournier, 2017).

Dans un contexte où l'ensemble de la chaîne de valeur de l'industrie de la construction doit entreprendre le virage numérique de façon concertée, toute mesure qui limite la mobilité des parties prenantes et accentue la fragmentation de l'industrie contribue à ralentir les initiatives innovantes.

1.2.2. Le rôle des donneurs d'ouvrages et des gouvernements face au virage numérique

Plusieurs facteurs influencent l'adoption d'innovations, et la facilité avec laquelle elle s'effectue au sein des entreprises. La poussée technologique (*technology push*) et la demande

du marché (*market pull*) sont des concepts qui définissent la motivation derrière le processus d'innovation dans lequel l'entreprise, ou l'industrie, s'est engagée.

La poussée technologique est un des éléments qui caractérisent un processus d'innovation stratégique qui anticipe des retombées positives à long terme. L'objectif est de tirer profit de nouvelles technologies et d'améliorer la concurrence de l'entreprise. Il s'agit d'un concept qui s'appuie sur des meneurs et des décideurs influents qui facilitent le virage innovant à grande échelle (Barrett & Sexton, 2006). La poussée technologique est une méthode typiquement utilisée par des gouvernements avec de fortes responsabilités sociales, tel que la France ou l'Allemagne, afin d'améliorer la situation économique et sociale. Ces pays utilisent leurs pouvoirs économiques et législatifs pour financer et cadrer des projets pilotes qui servent de bancs d'essai aux nouvelles technologies et aux nouveaux processus (Seaden & Manseau, 2001).

Un processus d'innovation basé sur la demande de marché, quant à lui, répond à une demande éminente et a pour objectif premier de répondre aux besoins du client. Dans ce contexte, l'innovation est un moyen nécessaire pour fournir le produit demandé selon les conditions exigées (Barrett & Sexton, 2006). Une culture innovante motivée par les opportunités d'affaires est basée sur un système économique de libre marché que l'on retrouve, entre autres, aux États-Unis et en Australie. Contrairement à une économie dirigée, qui tente d'influencer le développement industriel via des mesures économiques incitatives ou coercitives, l'économie de libre marché considère que la dérégulation des marchés est la meilleure méthode pour instaurer un contexte compétitif et inciter les entreprises à innover afin de se démarquer (Seaden & Manseau, 2001).

Les grands donneurs d'ouvrages et les décideurs politiques sont donc des acteurs influents au niveau de l'adoption de l'innovation dans la société, mais il n'est pas toujours facile de les départager. Seaden et Manseau décrivent le Canada comme étant une économie de libre marché et suggèrent que le processus d'innovation des industries est tiré par la demande (Seaden & Manseau, 2001). Cependant, malgré le fait que le gouvernement fédéral détient

l'exclusivité de la politique monétaire et commerciale, la décentralisation de l'état offre l'opportunité aux provinces d'appliquer leurs propres politiques économiques aux secteurs dont ils ont le contrôle, ce qui leur permettent de façonner leur propre stratégies industrielles et d'influencer le développement économique (Rigaud, Bernier, Côté, Facal, & Lévesque, 2008). Tel que discuté au point 1.2.1, le gouvernement québécois semble davantage pencher vers une politique économique interventionniste que ses vis-à-vis canadiens, suggérant donc qu'il a les moyens de favoriser l'innovation par poussée technologique. Cependant, par sa position de grand donneur d'ouvrages, le Québec a également le pouvoir d'influencer l'industrie via la demande de marché. Il prévoit d'ailleurs investir près de 115 milliards de dollars en infrastructures au cours des 10 prochaines années (Gouvernement du Québec, 2019).

Le Québec est la province canadienne qui investit le plus dans les activités de recherche et de développement des industries, proportionnellement au produit intérieur brut (PIB) (Rigaud et al., 2008). La poussée technologique qui se fait dans l'industrie de la construction est menée par plusieurs champions de l'industrie et organismes gouvernementaux qui se sont donné pour mission de favoriser le déploiement technologique au sein de l'industrie de la construction. La motivation derrière ceci est liée au fait que l'industrie de la construction compte pour 6% du produit intérieur brut de la province (Commission de la construction du Québec, 2018). De plus, il a été démontré que les secteurs économiques qui démontrent peu ou pas d'innovations technologiques sont moins perméables à l'arrivée de concurrents externes et donc plus vulnérables à la corruption (Québec (Province) et al., 2016).

L'impact des actions entreprises pour favoriser la poussée technologique est toutefois limité par la fragmentation de l'industrie et la décentralisation des efforts déployés (Poirier, Succar, & Kassem, 2019). Un plan de coordination national contribuerait largement à implanter un climat d'innovation et faciliter l'adoption du BIM (Edirisinghe, 2015). Il n'y a cependant pas de mandat national ou de stratégie coordonnée pour en arriver à implanter le BIM à l'échelle du pays (Cao, Zhang, McCabe, & Shahi, 2019). Une coordination législative à la grandeur

du pays et au niveau de tous les paliers gouvernementaux serait nécessaire afin de rendre le processus d’adjudication des contrats publics plus cohérent (Boulenger & Joanis, 2015).

Une coordination technologique est également nécessaire, afin d’harmoniser les caractéristiques techniques des innovations. Des organismes sans but lucratifs, tel que buildingSMART Canada ou BIM Québec, tentent d’orienter la transition technologique de l’industrie en créant des normes ouvertes et en proposant l’adoption de solutions qui faciliteront un virage numérique uniformisé à la grandeur de l’industrie (Jiang, Jiang, Han, Wu, & Wang, 2019). L’adoption de normes internationales permet, entre autres, d’unifier les efforts autrement fragmentés, et facilitent l’implantation des technologies.

Finalement, à défaut de pouvoir suivre une procédure d’implantation des nouvelles technologies dans l’industrie de la construction à l’échelle nationale, le gouvernement du Québec se fie à la société québécoise des infrastructures (SQI), qui gère le parc immobilier public québécois, pour développer un guide d’application du BIM afin d’unifier les efforts nécessaires pour entreprendre le virage numérique dans les projets publics à l’échelle de la province (Société québécoise des infrastructures, 2016).

1.3. Les enjeux reliés à l’implantation du BIM à la gestion des installations

Les facteurs qui représentent des obstacles à l’implantation du BIM sont de nature technologiques, économiques, procédurales, organisationnelles ou légales (Sun, Jiang, Skibniewski, Man, & Shen, 2015). Les mesures décrites au point 1.2.2, qui ont été mises en place pour catalyser l’utilisation des technologies dans le milieu de la construction, touchent toutefois principalement à trois de ces facteurs, qui représentent également les assises de la gouvernance BIM. Il s’agit du cadre législatif et contractuel, du cadre technologique, et du cadre organisationnel de la gestion des données (Alreshidi, Mourshed, & Rezgui, 2017). Ces trois facteurs sont, selon Bilal Succar, les « champs d’activités » qui définissent la maturité BIM d’une organisation (Succar, 2009a).

Si l'industrie de la gestion des actifs souhaite entreprendre le virage numérique, elle doit comprendre comment ces enjeux s'appliquent à leur domaine et ne pas percevoir ces défis comme étant insurmontables. Tout comme les défis reliés à l'implantation du BIM en phases de conception et de construction, les défis reliés à l'implantation du BIM-GEM sont surtout reliés aux changements qui affectent les processus déjà en place (Kelly, Serginson, Lockley, Dawood, & Kassem, 2013). Autrement dit, il est essentiel de se questionner sur la façon avec laquelle le BIM sera intégré aux systèmes de FM existants et sur le plus-value que le BIM apporte à ces outils (Miettinen et al., 2018).

1.3.1. Les défis légaux

Parmi les défis reliés à l'implantation du BIM, ceux qui touchent aux conséquences légales et contractuelles sont souvent considérés comme étant les plus importants (Jo, Ishak, & Rashid, 2018). L'uniformité et la cohérence des lois qui cadrent le droit de pratique dans l'industrie de la construction est, tel que décrit au point 1.2, un objectif qui repose principalement dans les mains des différents paliers gouvernementaux, mais il y a aussi plusieurs préoccupations légales reliées à l'application des nouvelles technologies dans l'industrie et à l'adoption de nouveaux processus de travail. Parmi ces préoccupations, il y a le besoin de clarifier les rôles et les responsabilités de chacun, en plus de cadrer les relations contractuelles entre parties prenantes et leur imputabilité face aux nouvelles tâches qui leur sont demandé (Kelly et al., 2013).

La résolution de conflits et de réclamations fait partie intégrante du processus d'avancement des projets de l'industrie de la construction (Bodea, 2018). La figure 1.2 illustre qu'un contexte collaboratif permet de prévenir les litiges et mitiger les effets négatifs reliés aux conflits, tel que l'escalade des coûts. Il est donc ironique de constater que le BIM, qui appelle à l'implantation d'un processus de travail collaboratif, peut présenter des risques de conflits entre parties prenantes.

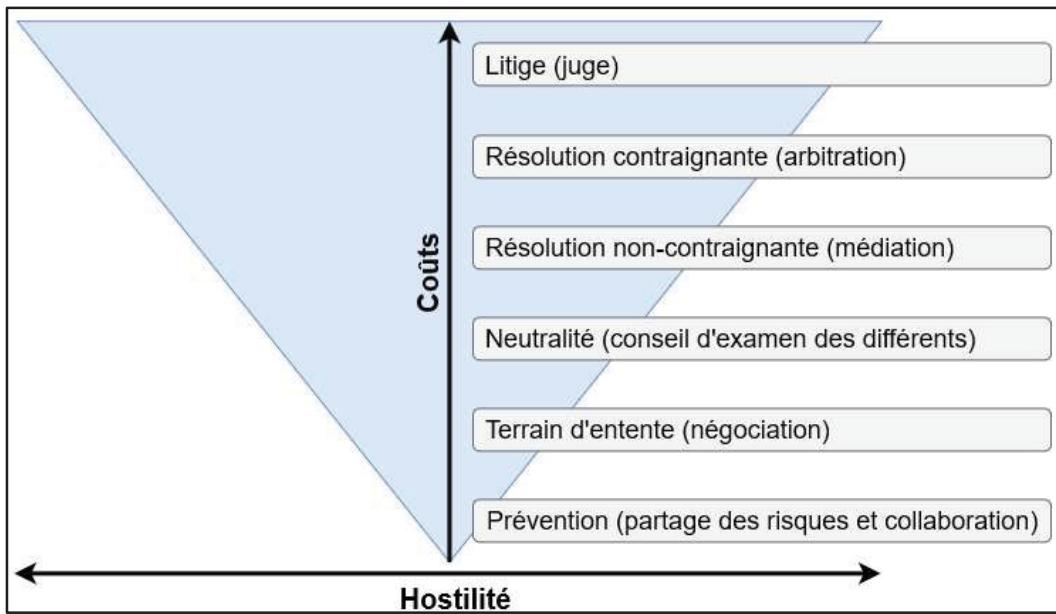


Figure 1.2 Méthodes de résolution de conflits dans le domaine de la construction
Adaptée de Cheung (1999)

En effet, le BIM perturbe le fonctionnement de l'industrie en changeant la façon avec laquelle les professionnels interagissent entre eux, en modifiant le processus de travail auquel ils sont habitués et en introduisant de nouveaux rôles au sein des équipes projets. La création de modèles de données intégrées et l'adoption de dynamiques de travail collaboratives peuvent générer de la confusion au niveau de la répartition des tâches et des responsabilités. La création de nouveaux rôles professionnels en lien avec la gestion du BIM peut remettre en question des responsabilités existantes et avoir des répercussions sur la définition des rôles professionnels traditionnels (Edirisinghe et al., 2017).

À l'opposé des possibles perturbations causées par l'introduction d'un nouveau paradigme, l'aspect collaboratif du BIM pourrait également contribuer à éviter ou mitiger les conflits entre professionnels (Bodea, 2018). Déceler les problèmes en amont du projet permet de réduire les impacts économiques de ceux-ci et d'amoindrir leur effet sur l'échéancier du projet (Alaloul, Hasaniyah, & Tayeh, 2019).

Les transformations qu'apporte le BIM sont si importantes qu'il devient nécessaire de repenser la formulation des contrats de construction afin de refléter la façon avec laquelle le BIM affecte l'ensemble de l'industrie. Les tâches à exécuter, les responsabilités légales à assumer, les types de livrables à transférer, les jalons à respecter et la valeur contractuelle du modèle de données sont des aspects du contrat qui devraient, en toute logique, être affectés par le processus collaboratif et novateur des projets BIM (Bodea, 2018).

Le mode de réalisation de projet, qui cadre les relations contractuelles entre parties prenantes et définit leur rôle au sein de la procédure de réalisation du projet, influence l'effet potentiellement perturbateur du BIM sur le processus de travail. Le mode de réalisation traditionnel, de type « conception-soumission-construction », qui aborde le processus de construction avec un regard fragmenté, tant au niveau des relations interprofessionnelles qu'au niveau du phasage des projets, n'est pas adapté à l'approche intégrée du BIM (Ashcraft, 2008).

Des efforts ont été investis par différents acteurs institutionnels afin d'inclure le BIM aux ententes contractuelles. L'Institut pour BIM au Canada (IBC) a développé un document type (IBC 100-2014) destiné à être annexé aux contrats de construction afin d'officialiser l'utilisation des modèles BIM. Ce document n'adresse cependant pas les changements que cause le BIM au niveau des rôles et des responsabilités des parties prenantes. (Fan, Lee, Chong, & Skibniewski, 2018).

Le concept de travail intégré, soutenu par un modèle BIM auquel les parties prenantes contribuent pendant l'ensemble du cycle de vie de l'actif, soulève des questionnements au niveau de la capacité qu'ont les professionnels d'assurer l'intégrité de leur apport au projet (Pandey, Shahbodaghlu, & Burger, 2016). Les professionnels ont l'obligation et la responsabilité de s'assurer que les travaux qui se rapportent à leur domaine d'expertise soit faite selon les règles de l'art. Au Québec, la définition des « règles de l'art », tel que formulée par la juge Thérèse Rousseau-Houle, fait jurisprudence. Il s'agit de l'« ensemble des techniques et des pratiques de construction approuvées, qui assurent que les ouvrages de

construction seront faits avec soin, prudence et diligence, et conviendront à leur destination finale » (Garant, 1983). Dans un contexte où un modèle peut être modifié par diverses parties prenantes pendant l'ensemble de son cycle de vie, le contrôle qualité, le maintien des règles de l'art et le suivi des responsabilités deviennent des tâches complexes à gérer (Jo et al., 2018)

Le modèle intégré a aussi pour effet de diluer le rôle de « concepteur » ou de « designer » parmi l'ensemble des parties prenantes, ce qui a pour conséquence de complexifier la gestion de la propriété intellectuelle des données (Bodea, 2018). Il est nécessaire d'attribuer la propriété des modèles puisque ceux-ci ne sont pas uniquement utilisés à des fins de construction. Leur usage dynamique, pendant l'ensemble du cycle de vie de l'actif, crée le besoin de clarifier les droits de propriété (Fan et al., 2018). Considérer le modèle BIM comme base de donnée au service du maintien et l'opération des actifs ouvre également la porte à d'éventuels litiges advenant des préjudices causés par des données manquantes ou erronées (Bodea, 2018). Le support technologique du BIM, qui rend les modèles vulnérables aux pertes de données lors des livrables, rend l'imputabilité de ce type de risques difficile à attribuer (Jo et al., 2018).

D'un point de vue purement technologique, l'utilisation du BIM introduit des notions de vulnérabilité au niveau de la confidentialité des données. Le partage d'informations à grande échelle ou au sein d'un réseau en ligne augmente le besoin de protéger les droits d'utilisation et les droits d'auteur en lien avec les artefacts numériques du projet (Ghaffarianhoseini et al., 2017).

Le processus de travail collaboratif promu par le BIM est donc en opposition avec les liens traditionnels entre parties prenantes dans l'industrie. L'utilisation du BIM risque d'engendrer de la confusion et de potentiels conflits concernant les liens contractuels, les rôles et les responsabilités de chacun (Arshad, Thaheem, Nasir, & Malik, 2019). Malgré le développement technologique qui transforme l'industrie, les sources de conflits demeurent

donc principalement reliés au comportement humain et à sa capacité d'adopter son processus de travail au nouveau paradigme relationnel de l'industrie (Arcadis, 2017).

1.3.2. Les défis technologiques

Par la nature technique du BIM, les défis technologiques reliés à son implantation dans l'industrie de la gestion des actifs abondent, tant au niveau des ressources physiques nécessaires pour supporter le processus technologique, qu'au niveau de la gestion des données qui alimentent les modèles et qui permettent d'en extraire de l'information.

La gestion des actifs se subdivise en plusieurs catégories d'activités qui requièrent l'attention d'une grande variété de spécialistes et de systèmes de gestion variés. La gestion des actifs dépend actuellement de plusieurs systèmes, tels que la gestion d'actifs assisté par ordinateur (CAFIM), la gestion des actifs de l'entreprise (GAM), les systèmes de gestion intégré des espaces de travail (IWMS) et les systèmes de gestion informatisé de la maintenance (CMMS). À l'image de l'industrie de la construction, qui souffre de la fragmentation de l'information, l'industrie de la gestion des actifs bénéficierait d'une source de données commune pour l'ensemble des processus de gestion (Gnanarednam & Jayasena, 2013). Le BIM doit être intégré aux systèmes de gestion déjà en place au lieu d'être considéré comme étant une solution de remplacement (Miettinen et al., 2018).

La complexité croissante des bâtiments et des systèmes mécaniques qui les composent requière un processus de gestion qui permet de traiter une grande quantité de données de façon efficace. Les gestionnaires d'actifs doivent utiliser ces données afin de prendre des décisions qui permettront d'optimiser la performance d'opération des actifs (Bolshakov, Badenko, Yadykin, Celani, & Fedotov, 2020). Les défis reliés à la gestion des bâtiments complexes sont non seulement dus à la grande quantité de données à gérer, mais également au fait que ces données proviennent d'un bassin morcelé de parties prenantes et sont issues d'un processus de production tout aussi fragmenté (Rezgui, Beach, & Rana, 2013). L'utilisation d'un modèle BIM a le potentiel de créer un noyau de référence commun pour

l'ensemble de ces données et permet de rendre certains processus de gestion plus efficents (Bolshakov et al., 2020). À la lumière de ce constat, Miettinen, Kerosuo, Metsälä et Paavola considèrent qu'il faut identifier les éléments du processus de gestion d'actifs qui sont les plus susceptibles d'être optimisés et de définir comment le BIM peut y contribuer (Miettinen et al., 2018).

Utiliser le modèle BIM comme référence commune pour l'information destinée à la gestion des actifs exige que la qualité des données que l'on y retrouve soit adéquatement contrôlée et maintenue. Une divergence entre le modèle BIM livré aux gestionnaires d'actifs et le modèle BIM que les gestionnaires s'attendent à recevoir est symptomatique de données de mauvaise qualité et l'utilité du modèle est remise en question (Assaf & Senart, 2012). Les besoins des gestionnaires d'actifs et l'utilisation qu'ils feront des données sont donc des facteurs importants à considérer afin de respecter le niveau de qualité requis (Kasprzak, Ramesh, & Dubler, 2013).

Plusieurs paramètres ont été identifiés dans une variété de publications qui traitent de la qualité de la donnée. La disponibilité et l'accessibilité des données (les bonnes données accessibles aux bonnes personnes), leur complétude (fournir les données nécessaires, ni plus, ni moins), leur précision quantitative (correspondance à la réalité), leur précision thématique (obéissent à une logique de classification), leur cohérence (aucune contradiction et aucun dédoublement entre les données), leur conformité (les données sont contenues dans format approprié à leur utilisation) et leur compréhensibilité (possibilité de relier la donnée à un contexte réel afin d'en tirer une information) sont tous considérées comme étant des dimensions de qualité qui influencent l'utilisabilité des données (Ariza-López & Rodríguez-Avi, 2015 ; Assaf & Senart, 2012 ; Atazadeh et al., 2017 ; Kasprzak et al., 2013 ; Motamedi, Iordanova, & Forgues, 2018).

Quelques-unes de ces dimensions sont influencées par des défis techniques qui s'appliquent à la gestion et au partage des données. Tel est le cas pour la cohérence (s'assurer que le partage de données n'aboutisse pas à une multiplication de versions et à une perte de contrôle au

niveau de la source de vérité (Sacks et al., 2018)), la conformité (s'assurer que les données demeurent utilisables pendant l'entièreté du cycle de vie de l'actif et éviter tout problème d'interopérabilité avec les systèmes d'exploitation utilisés (Edirisinghe et al., 2017)) et l'accessibilité des données (s'assurer que l'information soit facilement extraite du modèle en fonction des besoins de chacun (Solihin, Eastman, Lee, & Yang, 2017)).

Finalement, la sécurité des données et leur confidentialité est un enjeu qui a suffisamment d'importance aux yeux des parties prenantes pour qu'une insatisfaction à cet égard soit suffisante pour ralentir l'adoption et l'avancement des technologies (Fan et al., 2018). Ironiquement, les risques de piratage et de vol de données sont reliés aux mêmes caractéristiques technologiques qui font du BIM un concept d'intérêt pour la gestion des actifs, c'est-à-dire; la centralité des bases de données gérées par de tierces parties, la mobilité des données via des réseaux externes et l'accessibilité des données (Rezgui et al., 2013). Ces caractéristiques mettent les données à risque, entre autres, de perte d'intégrité, d'accès non autorisé et de piratage (Fan et al., 2018).

1.3.3. Les défis organisationnels

Les défis organisationnels de l'implantation du BIM sont reliés au processus de travail de l'entreprise (Succar, 2009). L'intégration du BIM à un processus de travail existant constitue un changement radical mais nécessaire puisque ce sont les changements organisationnels qui permettront une augmentation de productivité (Lindblad & Vass, 2015). Parmi les changements importants au sein du processus organisationnel, il y a; la dynamique collaborative qui modifie les dynamiques existantes entre parties prenantes, la modification des rôles et responsabilités de certains acteurs ainsi que l'introduction de nouvelles parties prenantes assignées à de nouvelles tâches dans le processus de réalisation de projet (Succar, 2009).

Ces changements demandent une grande implication provenant de l'ensemble des parties prenantes. Les hauts dirigeants des entreprises impliquées doivent prévoir des

investissements importants afin de procéder aux transformations (Merschbrock & Munkvold, 2015) tandis que les techniciens et les professionnels impliqués sur le terrain doivent adapter leurs méthodes de travail et créer des nouvelles procédures de collaboration afin de mettre en application les changements stratégiques de l'entreprise (Kokkonen & Alin, 2016).

Face à ces défis, les personnes directement impliquées dans les activités d'opération et de maintien des actifs doivent développer de nouvelles compétences afin de répondre adéquatement à la mutation des rôles et d'exploiter de façon optimale le potentiel qu'offre le BIM-GEM (Kelly et al., 2013). Les nouveaux rôles associés à la gestion BIM ne peuvent cependant pas être formalisés sans l'appui et la reconnaissance de toutes les parties prenantes, qui doivent comprendre comment ces nouveautés s'intègrent au fonctionnement de l'industrie, dans son ensemble (Bosch-Sijtsema, Gluch, & Sezer, 2019).

Le retour sur investissement (ROI) de ces efforts prend du temps à se réaliser. Des études démontrent que la productivité des entreprises qui procèdent à l'implantation du BIM a tendance à diminuer lors des premières années (Latiffi & Tai, 2019). De plus, il est difficile de quantifier précisément le retour sur investissement de l'utilisation du BIM étant donné la fragmentation de l'industrie et des processus (Henderson & Ruikar, 2010).

Les changements qui affectent la structure organisationnelle des entreprises sont faits dans le but d'adapter les processus de travail aux nouvelles façons de représenter et de partager l'information en contexte BIM (H. Cavka et al., 2015). La résistance au changement, qui est le maintien du statu quo via l'immobilisme ou l'opposition des parties prenantes, est un obstacle important à ces transformations organisationnelles. Les réactions émitives des parties prenantes affectées, déclenchées par la nouveauté et l'incertitude, sont au cœur de cette résistance (Henderson & Ruikar, 2010).

1.4. Répondre aux enjeux reliés à l'implantation du BIM-GEM

1.4.1. Un mode de réalisation adapté, axé sur la collaboration

Tel que mentionné au point 1.3.1, la sélection d'un mode de réalisation qui reflète le processus collaboratif du BIM est un enjeu majeur qui a d'importantes conséquences sur les bénéfices potentiels du BIM. Il est nécessaire de s'assurer que les ententes contractuelles sont adaptées à la production et au transfert des actifs numériques pour que ceux-ci répondent aux besoins de chacune des parties prenantes, y compris ceux du client, et à toutes les phases du cycle de vie, y compris à la phase des opérations (Fitz & Saleeb, 2019).

Selon le *BIM Handbook* (Sacks et al., 2018), les trois modes de réalisation de projet les plus populaires en Amérique du nord sont :

1. Le mode traditionnel (design-bid-build);
2. Le mode gestion de construction à risque;
3. Le mode conception construction (design-build).

Le mode traditionnel est l'approche relationnelle la plus fragmentée. Ce type de mode de réalisation exerce une séparation entre les parties prenantes impliquées en établissant un cloisonnement rigide entre les phases de réalisation du projet et en assignant des rôles rigides à chacune des parties prenantes par l'entremise de liens contractuels multiples entre le client et les professionnels. Sans liens contractuels entre eux, la responsabilité des professionnels est fragmentée et les entreprises impliquées dans le projet n'ont pas d'incitatif à unifier leurs objectifs stratégiques (Jo et al., 2018). Ce type de mode de réalisation n'offre pas l'environnement de confiance idéal pour l'implantation d'un processus de travail collaboratif tel que le BIM (Mota, Machado, Biotto, Mota, & Mota, 2019).

Le mode gestion de construction à risque tente de briser la séparation entre les phases de conception et de construction en impliquant un gestionnaire qui a pour tâche de faire le pont entre l'équipe de design et l'équipe de construction. Ce tiers parti, qui représente les intérêts

du client, a pour mission d'assurer l'esprit collaboratif du projet. Les liens contractuels entre parties prenantes demeurent cependant fragmentés et le processus de travail relève davantage de la coopération que de la collaboration (Schöttle, Haghsheno, & Gebauer, 2014).

Le mode conception construction est le mode de réalisation le plus collaboratif des trois cités plus haut, puisque les concepteurs et l'entrepreneur s'unissent au sein d'une même équipe et sous une même entente contractuelle avec le client. Tel le BIM, qui vise à gérer l'information de la construction provenant de plusieurs phases du projet, ce mode de réalisation implique l'entrepreneur dès le début du projet afin d'intégrer les principes de construction au processus de conception (Kalach, Srour, & Abdul-Malak, 2018).

Il existe un autre mode de réalisation possédant des caractéristiques qui pourrait en faire un candidat idéal pour les projets BIM. Il s'agit du mode de réalisation de projet intégré (RPI) qui non seulement reflète le processus collaboratif du BIM mais véhicule également l'approche holistique concernant l'implication des parties prenantes du projet (Fan et al., 2018). Le mode de réalisation de projet intégré lie l'ensemble des parties prenantes incluses dans la chaîne de valeur du projet, y compris le client, en une seule équipe qui accepte de partager les risques et les bénéfices reliés au projet. L'objectif est de réduire la fragmentation de l'équipe et de favoriser la recherche de solutions plutôt que les litiges. Ce sont d'ailleurs des caractéristiques qui correspondent aux recommandations formulées par la fédération des chambres du commerce du Québec pour favoriser la relance économique via les contrats publics (Fédération des chambres de commerce du Québec, 2020).

En plus de porter attention au mode de réalisation et à la structure des ententes entre parties prenantes, il est recommandé d'inclure des exigences de collaboration entre parties prenantes dans les clauses contractuelles afin de minimiser les risques de résistance au changement pouvant être occasionnés par l'implantation de nouveaux processus de travail (Merschbrock & Munkvold, 2015). Il est d'autant plus important de paver la voie à une implantation formelle et systématique du BIM par l'entremise de demandes contractuelles par les donneurs d'ouvrage influents (Seaden & Manseau, 2001).

1.4.2. L'interopérabilité des données et à la pérennité du BIM-GEM

Tel que mentionné au point 1.3.2, l'interopérabilité des données fournies par les parties prenantes et la compatibilité des outils de gestion informatisés qui produisent et exploitent l'information du projet sont des facteurs importants qui facilitent une gestion efficace des actifs, permettent l'optimisation de la performance des systèmes électromécaniques et engendrent des économies budgétaires substantiels sur l'ensemble du cycle de vie des actifs (Araszkiewicz, 2017).

Le plus grand défi qui fait obstacle à l'objectif d'établir un libre flux d'informations sur toute la durée du cycle de vie de l'actif est le passage de la phase de construction vers la phase d'opération. (Miettinen et al., 2018). L'adoption de normes cadrant la production, la représentation et le partage de données est une solution qui facilite la fluidité des communications, la collaboration entre les parties prenantes et la transition entre les phases du projet (Ghaffarianhoseini et al., 2017), mais c'est l'intégration des données contenues dans le modèle BIM provenant de la phase de construction aux systèmes automatisés du bâtiment (BAS) et les systèmes de gestion existants qui est problématique. Les opérations gérées par le BAS sont des tâches ciblées, informées par des données provenant de divers capteurs. Tel est le cas pour la climatisation, le chauffage, le contrôle de l'éclairage, les volet pare-soleil, l'ouverture des fenêtres, la protection contre les incendies, le fonctionnement du système de sécurité et la gestion des contrôles d'accès (Dounis & Caraicos, 2009 ; Tang, Shelden, Eastman, Pishdad-Bozorgi, & Gao, 2020). Les prises de décisions qui se basent uniquement sur la lecture d'un capteur de données ne peuvent pas adresser des situations complexes. Un échange d'informations entre le BIM et le BAS pourrait contribuer à élaborer des solutions mieux adaptées aux situations rencontrées (Gudnason & Scherer, 2012).

Il n'y a pas de norme consacrée à la facilitation de l'échange d'informations entre le BIM et le BAS (Miettinen et al., 2018). Il existe cependant des protocoles de communication à formats ouverts pour chacun de ces deux systèmes de gestion d'information. Il y a, entre autres, le *Industry Foundation Class* (IFC) pour le BIM et le *Building Automation and*

Control Networks (BACnet) pour le BAS (Tang et al., 2020). Le format ouvert est un protocole de communication qui transige des formats de données avec des spécifications publiques et sans restriction d'accès. L'utilisation de ces formats augmente les possibilités d'intégration entre les données et les systèmes auxquels elles sont destinées (Zhang, Liu, Hu, Lin, & Yu, 2017). L'arrimage entre les cycles de vie des technologies BIM (un à deux ans) et ceux des plateformes de gestion des actifs (dix à vingt ans) demeure cependant un défi (Kelly et al., 2013).

Au-delà de l'ouverture du format de la donnée, le processus entier de la gestion de l'information bénéficie du concept d'ouverture. Ce qui est connu comme étant le *Open BIM* établit une culture d'ouverture et de transparence entre parties prenantes (Bühlmeier, 2018). En effet, l'interopérabilité des données ne dépend pas uniquement de la normalisation de leurs formats. Il est également important de normaliser la procédure de demande, de production et de livraison des données de manière à fournir au client les données adéquates, utilisables et pérennes (Pishdad-Bozorgi et al., 2018 ; Siebelink, Voordijk, & Adriaanse, 2018). L'application des normes de l'industrie à l'ensemble des facettes du projet facilite une collaboration harmonieuse entre parties prenantes et la production de livrables de qualité (Lea, Ganah, Goulding, & Ainsworth, 2015 ; Zhang et al., 2017). La complexité grandissante des projets de construction est une autre raison d'opter pour des normes ouvertes. En effet, la spécialisation grandissante des parties prenantes engendre une multiplication d'outils spécialisés utilisés dans le cadre des projets. Les formats ouverts facilitent la conglomération des informations issues de ces outils (Almeida, Oliveira, & Cruz, 2010).

1.4.3. La gestion du changement

La nature holistique du BIM signifie que son implantation entraîne des bouleversements dans l'ensemble de l'organisation des entreprises impliquées. Une culture de changement doit être adoptée pour faire face aux défis organisationnels rencontrés (Munir, Kiviniemi, Finnegan, et al., 2019). La résistance au changement prend racine dans les émotions des parties prenantes qui ne tolèrent pas, ou peu, l'incertitude. Fournir un support pédagogique et logistique en

plus d'expliquer l'utilité du changement apporté aide à rationaliser les difficultés rencontrées et à gérer le changement de façon plus efficace (Henderson & Ruikar, 2010).

Il est difficile de faire accepter des changements drastiques apportés à un processus de travail fermement établi. Cette acceptation repose sur la compréhension que les parties prenantes se font de la valeur ajoutée qu'apporte le changement (Miettinen et al., 2018). Les entreprises et les organisations qui souhaitent participer à l'implantation du BIM dans le processus de gestion des actifs doivent trouver le moyen de convaincre les personnes qui font parti de leur organigramme et de montrer l'exemple aux personnes directement impliquées dans le projet. Inclure dans l'équipe une personne innovante, confiante et influente, communément appelée « champion(ne) technologique » est la clé pour faciliter le virage du changement (Crawford & Strohkirch, 1997).

Il est aussi nécessaire de réaliser que la gestion des actifs regroupe plusieurs domaines d'expertises, ayant chacun besoin de son propre système de gestion assisté par ordinateur (CAFM). Cette fragmentation des systèmes existants justifie l'implantation graduelle et incrémentale du BIM (Miettinen et al., 2018).

Les défis sont principalement intra-organisationnels lorsque le changement est initié par le donneur d'ouvrage (demande du marché), alors que les défis sont davantage inter-organisationnels lorsque l'initiative d'implantation du BIM découle d'une poussée technologique, tel que pour un projet pilote, par exemple (Vass & Gustavsson, 2017). Il y a d'ailleurs un grand potentiel de création de valeur via l'optimisation de la coopération inter-organisationnelle rendue possible par le BIM. Le retour sur investissements en lien avec l'implantation du BIM n'est cependant pas le même pour toutes les parties prenantes. Les investissements proviennent principalement des équipes de conception et de construction, alors que les bénéfices privilégient surtout les opérateurs, à long terme. Ce déséquilibre doit être adressé, faute de quoi l'implantation du BIM pourrait être compromis (Zheng et al., 2017).

Il est recommandé aux entreprises de se conformer aux normes de l'industrie afin de faciliter la mise en place des changements organisationnels (Koch, Hansen, & Jacobsen, 2019). En plus de devoir s'adapter à de nouveaux processus et de devoir mettre leurs connaissances à jour, les gestionnaires d'actifs devront, dans certains cas, être formés pour acquérir de nouvelles compétences et remplir de nouveaux rôles (Becerik-Gerber et al., 2012).

Les gestionnaires d'actifs font partie des parties prenantes qui tardent encore à utiliser le BIM dans le cadre de leurs activités (Ghaffarianhoseini et al., 2017). C'est pourquoi il est essentiel de mettre en place un contexte favorable à l'alignement des facteurs légaux, technologiques et organisationnels discutés au point 1.3 qui permettront aux gestionnaires d'actifs d'atteindre un degré de maturité suffisant pour une exploitation opérationnelle efficiente, tel que permis par le BIM (Succar, 2009).

1.5. Cadrer la gestion de l'information

Les enjeux d'intégration du BIM à la GEM et les solutions proposées pour y arriver mettent en évidence l'importance de la communication entre parties prenantes, aussi bien lors de la réalisation du bâtiment que lors de la gestion des actifs. Une meilleure gestion de l'information est un objectif que les solutions proposées face aux enjeux d'intégration du BIM à la GEM ont en commun.

Ainsi, les enjeux légaux et contractuels, qui reposent en partie sur les engagements que les parties prenantes ont les unes envers les autres ainsi que sur certaines restrictions et mesures politiques, sont mitigés par des communications plus transparentes et une restructuration des liens entre parties prenantes. Les enjeux technologiques qui affectent l'industrie de la construction et qui se résument en une série de barrières qui restreignent le partage d'informations sont, quant à eux, contrés par le concept d'interopérabilité. C'est une façon de briser les silos technologiques et de faire circuler l'information de façon fluide et sans restriction sur l'ensemble du cycle de vie de l'actif. Finalement, les enjeux organisationnels, qui concernent les bouleversements au niveau des rôles et responsabilités des parties

prenantes, sont adressés par une stratégie de communication inclusive qui contribue à l'inclusion de l'ensemble des parties prenantes de l'équipe au processus de changement.

Gérer l'information de façon efficace est une tâche qui doit être abordée méthodiquement. La norme ISO 19650 est la norme internationale qui vise à cadrer la gestion de l'information sur l'entièreté du cycle de vie de l'installation. Cette gestion inclut donc la production et le transfert de l'information destinée à la gestion et aux opérations de l'actif. ISO 19650 complémente plusieurs autres normes de gestion, tel que ISO 41001 (gestion d'installations), ISO 55000 (gestions d'actifs) et ISO 21500 (gestion de projets). Toutes ces normes ont pour objectif d'optimiser le rendement de travail des gestionnaires.

La clé de l'implantation du BIM-GEM repose sur le transfert d'informations pertinentes à la gestion des actifs de la phase de construction vers la phase des opérations. Pour ceci, les propriétaires et gestionnaires d'actifs ont comme défi de formuler leurs exigences d'informations (H. B. Cavka, Staub-French, & Poirier, 2017). Ces informations doivent être de bonne qualité afin d'assurer l'efficacité de l'usage du BIM-GEM. C'est pour assurer cette qualité qu'il faut favoriser une constance dans la façon de formuler les exigences, produire les livrables et partager les informations. Les normes sont mises en place afin d'atteindre ces objectifs (Kasprzak et al., 2013 ; Thabet, Lucas, & Johnston, 2016 ; William East, Nisbet, & Liebich, 2013).

Tel que mentionné précédemment, assurer un flux efficace d'informations relève du défi. Mais la difficulté est particulièrement grande lorsque l'information est destinée à la gestion et au maintien des actifs. Il s'agit d'un processus souvent négligé puisque le transfert des livrables numériques marque habituellement la fin du contexte collaboratif entre professionnels de la construction et les priorités des parties prenantes impliquées à ce moment du projet sont habituellement tournées vers l'achèvement de la phase de construction (Tan, Zaman, & Sutrisna, 2018). Une bonne communication entre l'équipe de conception-construction et celle de GEM est cependant nécessaire pour que le BIM tel que construit (TQC) puisse être adapté aux besoins des gestionnaires de l'actif et devienne le modèle BIM-

GEM synchronisé avec les systèmes informatisés de gestion de maintenance (CMMS) (Motamed et al., 2018 ; Thabet et al., 2016).

À la lumière des enjeux discutés ci-haut, l'implantation du BIM à la gestion des actifs dépend d'une compréhension de l'utilité des informations requises pour le BIM-GEM, d'un processus de collecte d'informations qui couvre toutes les phases du cycle de vie de l'actif et une stratégie technologique qui permet l'interopérabilité des données avec les systèmes de CMMS (Pishdad-Bozorgi et al., 2018). La norme ISO 19650 répond à ces besoins en structurant le transfert des livrables numériques vers le BIM-GEM. La norme aide à définir quelle information doit être transférée par quelle partie prenante, à quel moment et de quelle façon (quoi, qui, quand et comment).

1.5.1. Définir les informations exigées

La norme ISO 19650 incite les parties prenantes à prendre du recul face au projet et à comprendre les besoins stratégiques du client, ou de l'organisation. Dans l'écosystème global des besoins, le projet de construction a pour objectif de réaliser un actif qui répond à un besoin stratégique pour l'organisation.

La figure 1.3, tirée de la norme ISO 19650, démontre la logique relationnelle entre les besoins de l'organisation et les différentes exigences d'informations formulées par les autres parties prenantes. Il est nécessaire de savoir quelles sont les besoins en informations de l'organisation (OIR) avant de pouvoir identifier quelle est l'information requise pour l'actif (AIR). Les entrepreneurs vont identifier leurs propres besoins afin d'en arriver à des exigences d'informations pour le projet (PIR). Finalement, les informations identifiées dans les AIR et les PIR devront être livrées selon les exigences d'échange d'informations (EIR) afin de peupler le modèle d'information des actifs (AIM) et le modèle d'information du projet (PIM).

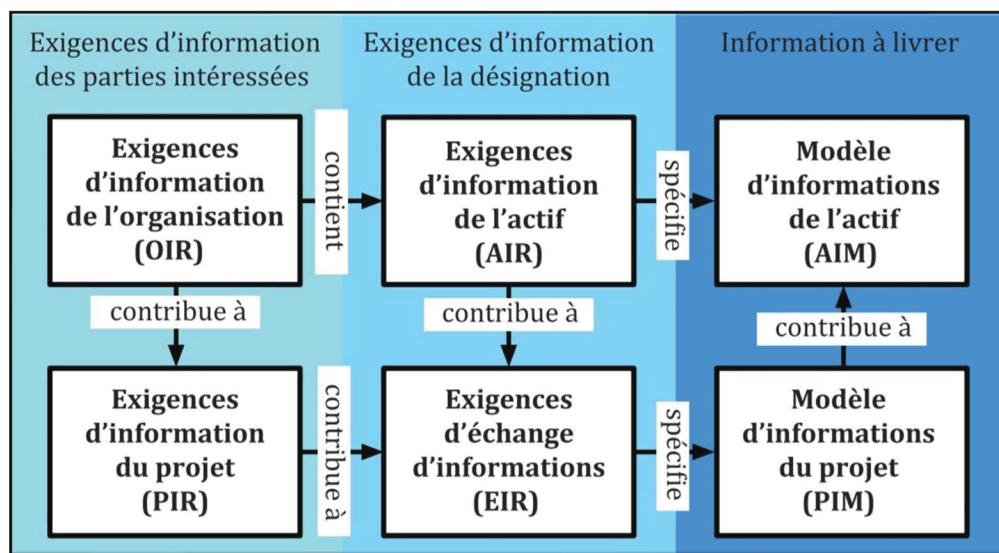


Figure 1.3 Liens entre les exigences d’informations
Tirée de International Organization for Standardization (2018)

La distinction entre PIM et AIM insinue qu’il y a plusieurs types de modèles BIM au cours du cycle de vie de l’actif. La composition des modèles varie en fonction de leur utilisation. C’est ce qui explique que certains modèles, transférés de la phase de construction à la phase des opérations, sont livrés avec des informations non pertinentes à la phase d’opération ou avec des manquements concernant certaines informations indispensables (Wijekoon et al., 2018).

Les propriétaires d’actifs n’ont pas suffisamment de connaissances concernant les exigences d’informations et l’impact que celles-ci peuvent avoir sur les opérations. Ces propriétaires ont pourtant besoin de s’impliquer dans la formulation de ces exigences étant donné que les stratégies d’affaires qu’ils pilotent ont une influence sur les informations nécessaires pour les opérations des installations (Munir, Kiviniemi, Jones, & Finnegan, 2020).

Bien que bon nombre d’exigences sont propres à chaque projet, il est mentionné par Cavka et al. que certains types de données sont récurrents d’un projet à l’autre et qu’il serait utile de normaliser certaines exigences afin de faciliter le déroulement du processus aux propriétaires (H. B. Cavka et al., 2017). En absence de normes, les parties prenantes ont souvent tendance

à accumuler le plus de données possible (Pishdad-Bozorgi et al., 2018). Tel que mentionné précédemment, posséder une grande quantité de données ne signifie pas nécessairement posséder les données qui correspondent aux besoins. Les gestionnaires d'actifs doivent être à l'affût des avantages que le BIM procure à l'atteinte de leurs objectifs et exiger les informations en conséquence de ces constats. La figure 1.4 illustre la variété d'informations non géométriques pouvant être exigées. En s'impliquant dès le début du projet, la responsabilité première des propriétaires d'actifs, ou des gestionnaires qui les représentent, est de contrôler la qualité des données et d'assurer que les livrables correspondent aux exigences d'informations, telles que formulées en début de projet (Becerik-Gerber et al., 2012).

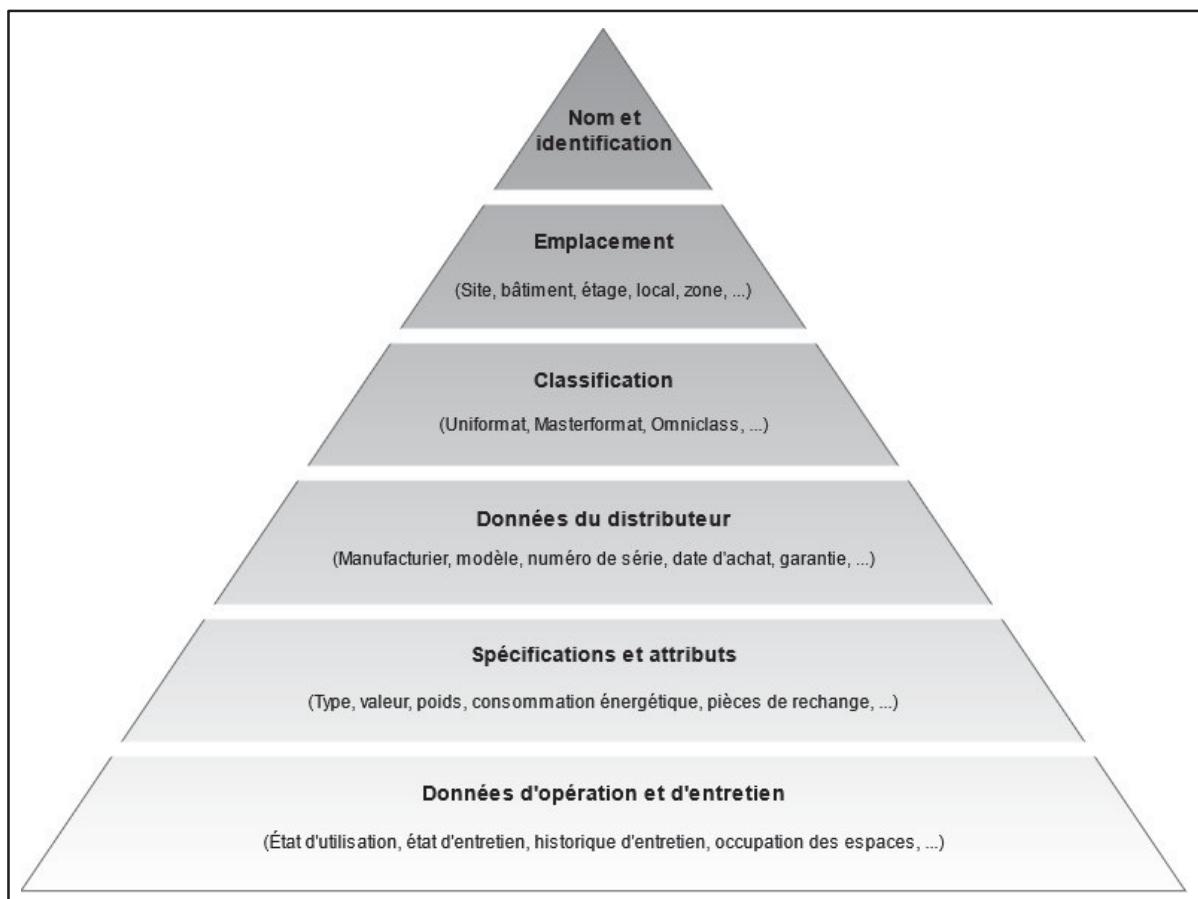


Figure 1.4 Exigences potentielles de données non géométriques, traduction libre
Tirée de Becerik (2012)

Le niveau d'information nécessaire (Level of Information Need) est un concept important de la norme ISO 19650. Il est recommandé qu'un tableau soit produit pour que les parties prenantes comprennent exactement quelle information doit être livrée. Ce tableau précise non seulement le contenu du livrable numérique, mais identifie également qui doit fournir l'information, et à quel moment.

1.5.2. Clarifier les tâches

La norme distingue les parties prenantes d'un projet comme étant; ou bien des parties désignantes (propriétaires et maîtres d'ouvrages), ou bien des parties désignées. Les parties désignées sont les parties qui répondent aux demandes des parties désignantes. Ce sont des parties désignées '*principales*' si elles désignent elles-mêmes des sous-traitants afin d'exécuter certaines tâches. La figure 1.5, ci-dessous, illustre les liens désignants-désignés, tels que suggérés par la norme. 'A' est la partie désignante. Les parties 'B' sont les parties désignées '*principales*' et les parties 'C' sont les parties désignées. Les parties 'B' sont à la tête d'une équipe de livrable (2). Celles-ci se coordonnent entre elles. Les parties 'C', qui font partie de la même équipe de tâches (3) et qui sont désignées par une même partie désignée '*principale*', doivent également se coordonner entre elles. L'ensembles de ces parties prenantes constituent l'équipe projet (1).

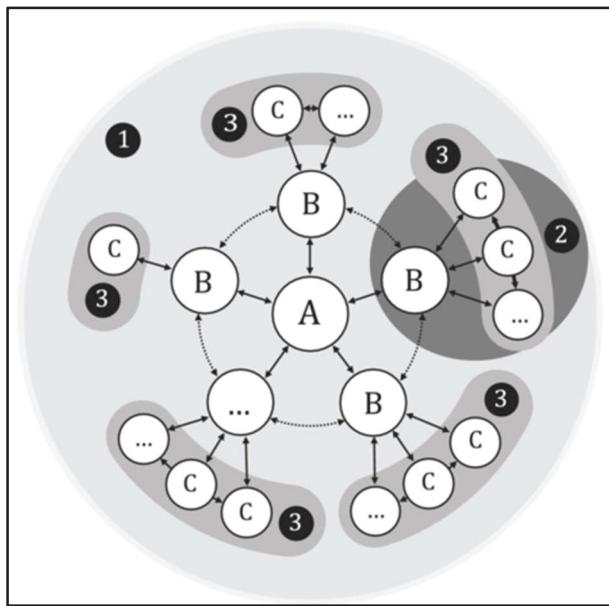


Figure 1.5 Liens entre parties désignantes et parties désignées selon ISO 19650-2
Tirée de International Organization for Standardization (2018a)

Selon ISO 19650, la responsabilité des parties prenantes, en lien avec la gestion de l’information, doit être documentée dans une “matrice de responsabilité”. La norme précise que cette matrice assigne des fonctions de gestion à des équipes, ou individus, qui devront ensuite s’assurer d’assigner les rôles d’exécution via le plan de livraison d’informations des tâches (task information delivery plan, TIDP). Ceci implique que les rôles ne sont pas assignés de facto à un individu ou à une profession pour l’ensemble des fonctions de gestion du projet. La clause 5.1.1 de ISO 19650-2 recommande que le donneur d’ouvrage attribue la gestion de l’information aux parties prenantes les plus compétentes pour le faire. Non seulement est-il important que les parties désignées puissent gérer l’information, elles doivent également avoir les ressources suffisantes pour produire l’information exigée (Boutle et al., 2019).

La matrice de responsabilité est un tableau de type ‘RACI’; c’est-à-dire une grille où les exécutants (*responsible*) sont identifiés par la lettre ‘R’, les responsables (*accountable*) sont identifiés par la lettre ‘A’, les parties prenantes à consulter (*consulted*) sont identifiées par la

lettre ‘C’, et les parties prenantes à informer (*informed*) sont identifiées par la lettre ‘I’. Toutes les tâches à réaliser au cours du projet sont énumérées le long de l’axe vertical du tableau, et toutes les parties prenantes sont indiquées le long de l’axe horizontal, à la tête des colonnes.

L’intégration de la norme ISO 19650 aux documents contractuels peut donc servir à cadrer les responsabilités des parties prenantes au sujet des informations numériques à produire et le moment de les livrer (Winfield, 2020). Dans ces circonstances, en plus d’être utile pour guider la gestion de l’information, la norme sert également à protéger les intérêts des parties prenantes impliquées dans le projet, dont ceux du client. L’utilisation de normes et l’implication active du client en amont du projet contribue en effet à créer un modèle BIM beaucoup plus centré sur les besoins du client, et non seulement sur ceux des équipes de conception et de construction (Simon, 2016).

1.5.3. Implanter un processus itératif et intégré de production numérique

Un des enjeux majeurs de la transition d’informations de la phase de construction à celle d’opération est l’intégration des informations aux systèmes de GEM (Miettinen et al., 2018). Les gestionnaires de ces systèmes ont un rôle important à jouer afin d’assurer cette intégration et doivent s’impliquer le plus tôt possible (Simon, 2016). Un autre enjeu important est l’intégration de la chaîne d’approvisionnement au processus de livraison d’informations qui répondent aux exigences stratégiques du client. Les intérêts des parties prenantes ne sont pas toujours alignés sur les objectifs du projet et il est difficile d’assurer un flux d’informations sans failles (Wijekoon et al., 2018). Il est également recommandé d’impliquer les acteurs de la chaîne d’approvisionnement le plus tôt possible afin de faciliter le flux d’informations.

Le flux d’informations au cours du cycle de vie de l’actif est un processus itératif qui implique la participation de l’ensemble des parties prenantes au cours de toutes les phases du projet. La norme ISO 19650 suggère un processus graduel de production et de livraison des

informations, tel qu'illustré dans la figure 1.6. De cette façon, la qualité des livrables est régulièrement contrôlée et toutes les parties prenantes concernées par les livrables sont impliquées dans le processus. En étant impliqué lors de la production d'informations au cours des phases de conception et de construction, le client s'assure d'obtenir les informations requises pour la phase d'opération. Ainsi, le modèle d'information utilisé pour la construction (*project information model*, PIM) est plus facilement converti en modèle d'information destiné à l'entretien et aux opérations de l'actif (*asset information model*, AIM) (Miettinen et al., 2018).

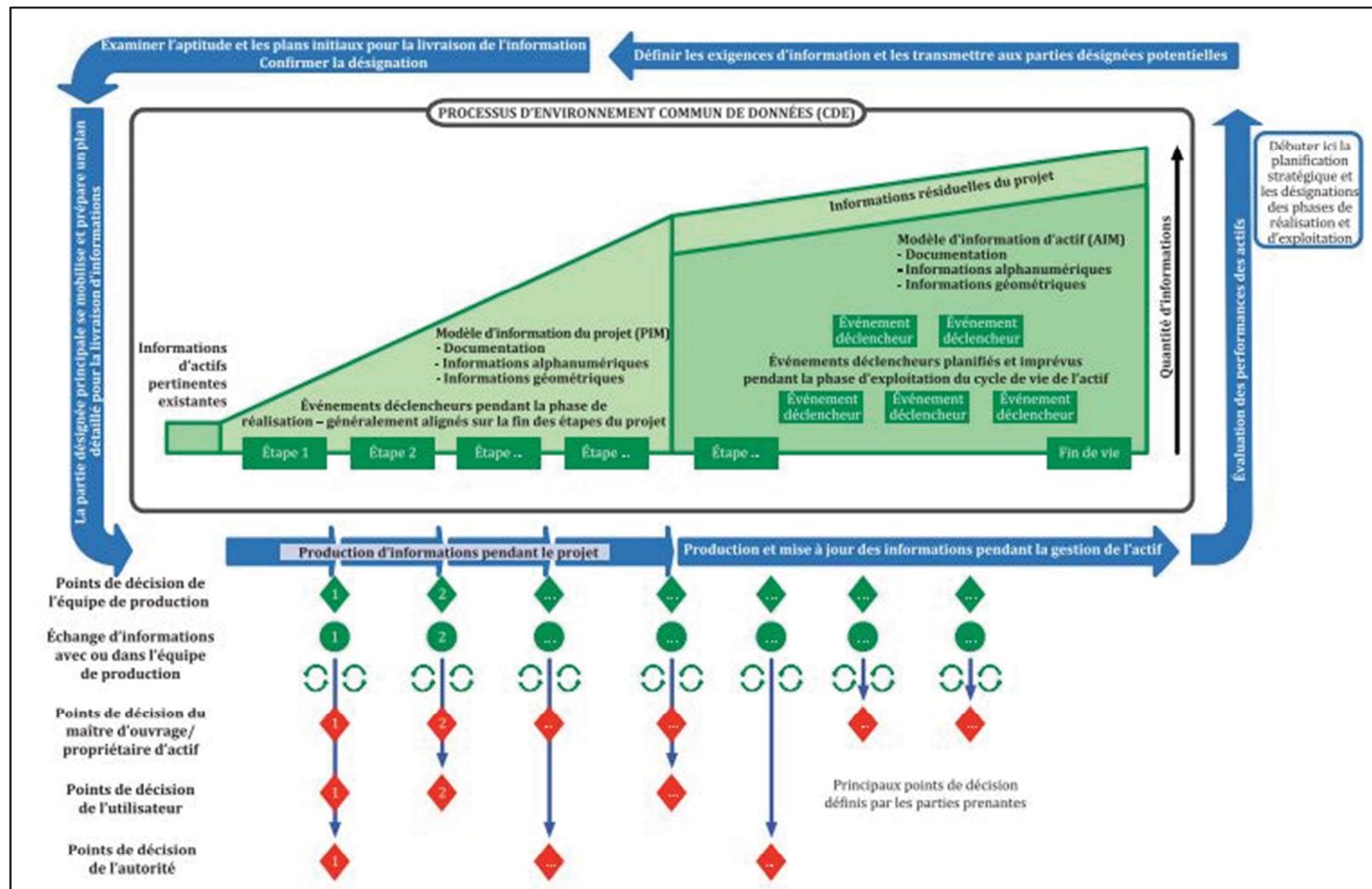


Figure 1.6 Cycle des livrables numériques au cours du cycle de vie selon ISO 19650
Tirée de International Organization for Standardization (2018b)

La passation graduelle et itérative des informations d'une phase à l'autre est une des clés du concept de '*soft landing*', développé par le gouvernement britannique pour les projets publiques réalisés sous sa gouverne. Le '*soft landing*' est un processus de transfert d'informations qui a pour objectif d'améliorer la performance des actifs en s'assurant que les livrables numériques répondent aussi bien aux besoins des propriétaires qu'à ceux des opérateurs et des utilisateurs (Philp, Churcher, & Davidson, 2019). Bien que le concept de '*soft landing*', à proprement parler, ne soit pas exigé par le gouvernement canadien, la création de valeur engendrée par l'allignement des objectifs est une pratique qui peut s'implanter via un plan d'exécution BIM (PEB) orienté sur les besoins stratégiques du donneur d'ouvrage. Bénéficier d'une planification structurée qui cadre la production et le transfert des livrables numériques permet d'optimiser le ROI des propriétaires. Il est donc important que ceux-ci s'impliquent dans le développement de leur équipe de gestion des actifs, dans la stratégie de gestion des actifs, dans la planification de l'usage des modèles d'informations pour l'opération et le maintien des actifs, dans l'identificataion des informations nécessaires pour l'opération et le maintien des actifs, et dans le contrôle de qualité des livrables numériques afin que leurs intérêts soient reflétés dans le PGB (Lin, Chen, Huang, & Hong, 2016).

1.5.4. Cadrer le processus de transfert numériques pour assurer leur pérennité

Il a été mentionné au point 1.5.1 qu'il est nécessaire pour le client de s'impliquer dans l'élaboration des exigences d'informations afin de s'assurer que ces informations puissent contribuer aux objectifs stratégiques de l'organisation. Il a été mentionné au point 1.5.2 que les responsabilités en lien avec les livrables numériques doivent être clairement attribuées aux différentes parties prenantes, y compris le client. Il a été mentionné au point 1.5.3 que le client doit s'impliquer dans le contrôle de qualité des informations tout au long du processus, y compris au cours des phases qui précèdent l'opération et le maintien des installations.

Ces procédures sont mises en place afin de produire des données fiables et utilisables qui lui permettront au donneur d'ouvrage de prendre des décisions justes et informées (Winfield,

2020). Un processus de transfert doit être implanté afin que ces informations puissent aboutir en possession du propriétaire tout en évitant la perte de données et en s'assurant de leur pérennité pendant l'ensemble du cycle de vie de l'actif. Ce processus est critique étant donné que le transfert des livrables numériques entre la phase de construction et celle des opérations est le moment pendant lequel la plus grande quantité d'informations est habituellement perdue (Hyun, Marjanovic-Halburd, Raslan, & Rovas, 2016).

La norme ISO 19650 suggère l'utilisation d'une plateforme dédiée au partage d'informations entre parties prenantes pendant l'entièreté du cycle de vie de l'actif. L'objectif de cet environnement numérique, appelé l'environnement de données commun (*common data environment*, CDE), est de sécuriser l'intégrité des données, garantir l'accessibilité des données aux parties concernées et servir de source de référence commune pour toute information en lien avec le projet (International Organization for Standardization, 2018b).

La figure 1.7 illustre le processus de transfert de l'information via le CDE. L'information contenue dans le CDE transitionne habituellement par un flux qui passe par quatre 'états' d'avancement (Boutle et al., 2019). Selon ces états, l'information est soit 'en cours', soit 'partagé', soit 'publié', ou 'archivé'.

Selon ce flux, l'information est d'abord produite par une équipe de tâche (voir figure 1.5.2). Cet état est celui du travail 'en cours'. Bien que faisant partie du CDE, l'information de cet état n'est pas encore partagée en dehors de l'équipe responsable de la tâche. Afin d'être partagée avec les parties prenantes qui pourraient faire usage de cette information pour d'autres tâches, l'information doit passer par un processus de vérification et de contrôle de qualité. Lorsque vérifiée et approuvée, l'état de l'information devient 'partagé'. L'information partagée est celle utilisée pour coordonner le travail entre parties prenantes. L'information suit habituellement un cycle itératif entre les états de 'travail en cours' et 'partagé'. Encore une fois, l'information doit être vérifiée et approuvée avant de pouvoir passer au prochain état. Permettre à l'information de faire la transition vers l'état 'publié' est, en quelques sortes, une façon d'officialiser l'information. Une information 'publiée' est une

information livrée qui peut être utilisée dans le cadre de son usage prévu. C'est à cet état que l'information doit être acheminée afin d'être utilisée pour la construction. C'est également à cet état que le client a accès à l'information contractuellement exigée afin de l'utiliser pour l'opération et le maintien de l'actif. Finalement, l'état 'archivé' est un état de référence auquel il est parfois utile de se rapporter afin de retracer le processus d'avancement du projet et de retrouver certaines informations en lien avec les procédures de développement et de partage des livrables. Les archives sont particulièrement utiles pour régler certaines situations conflictuelles ou pour effectuer des contrôles de qualité en lien avec le processus de travail.

Lors de la vérification et l'approbation de l'information, la norme ISO 19650 recommande d'effectuer le contrôle de qualité en deux temps. Premièrement, le contenu de l'information doit correspondre aux exigences de qualité émises par la partie désignante. Ensuite, le contenant de l'information, tel que le format numérique, la classification ou la structure de la donnée, doit répondre aux exigences de la stratégie adoptée par l'équipe projet (International Organization for Standardization, 2018b). Si la forme des contenus d'informations ne correspond pas exactement à la configuration exigée par le client, l'information risque de souffrir d'un manque d'interopérabilité avec les systèmes CMMS (Pishdad-Bozorgi et al., 2018).

Ce sont les parties désignées 'principales', à la tête des équipes de livrables, qui ont la responsabilité d'approuver la publication et l'éventuel archivage du livrable (Svetel, Ivanišević, & Isailović, 2020). Les paramètres de qualité sont énoncés dans le plan directeur de livraison d'informations (*master information delivery plan*, MIDP) et dans les plans de livraison d'informations des tâches (*task information delivery plans*, TIDP) (Boutle et al., 2019). Les protocoles de contrôle de qualité doivent être acceptés et appliqués par l'ensemble des parties prenantes du projet pour que le contenu du CDE soit considéré comme étant la source d'information unique du projet.

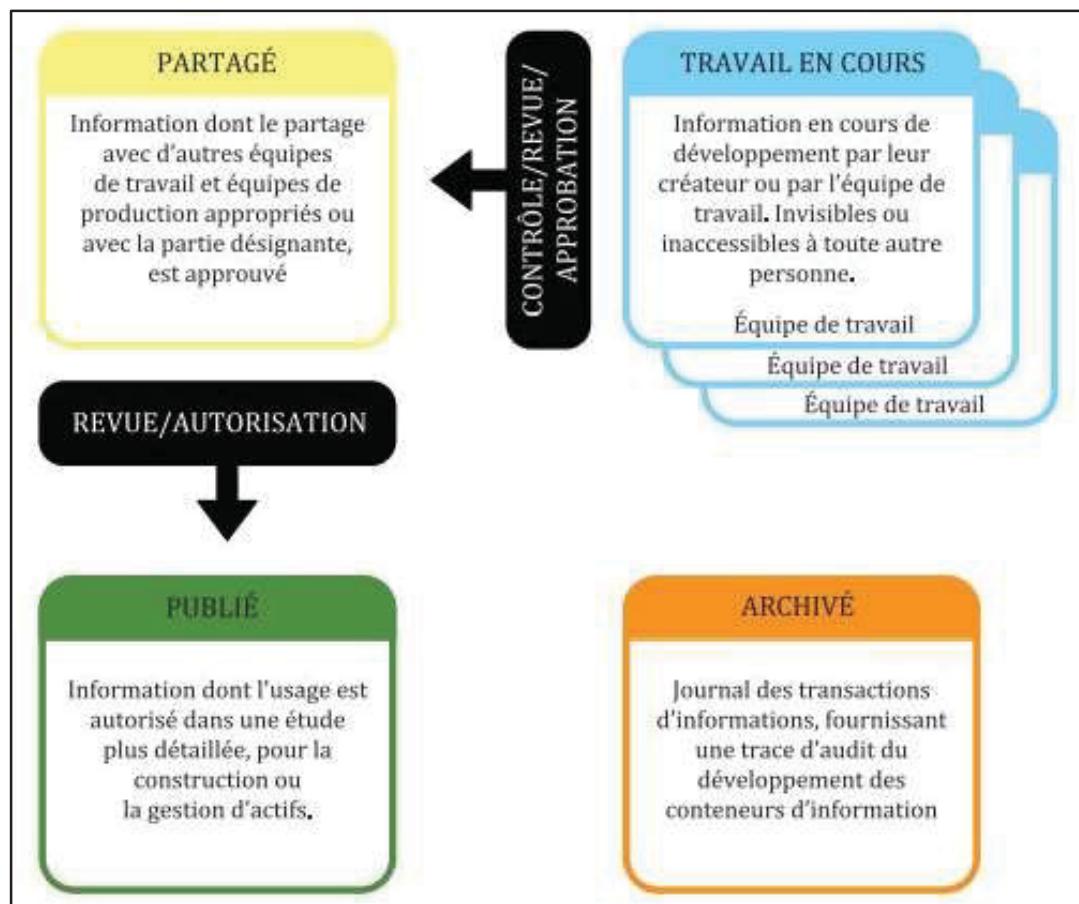


Figure 1.7 Processus de partage de l'information au sein du CDE selon ISO 19650
Tirée de International Organization for Standardization (2018b)

Un même projet peut utiliser plusieurs CDE. Le CDE décrit à la figure 1.5.4 peut, par exemple, servir lors de la phase de conception alors qu'un autre CDE pourrait être utilisé pour la phase de construction et un troisième pour la phase d'opération et de maintenance. L'utilisation d'un seul CDE pour l'ensemble du cycle de vie de l'actif est un objectif à atteindre afin de bénéficier du plein potentiel de ce principe de partage d'informations. Cet objectif exige cependant de l'industrie un niveau de maturité plus élevé que ce qui est demandé par la norme ISO 19650. Dans tous les cas, la norme suggère que c'est la partie désignante qui soit propriétaire du CDE. L'implantation du CDE devrait être la première action à réaliser dans le cadre d'un projet, car tous les documents, y compris les contrats et le plan de gestion BIM, se retrouvent dans le CDE.

Étant donné que le CDE documente toute l'information en lien avec le projet, son importance est significative pour le propriétaire qui souhaite l'utiliser comme source d'information pour l'opération et le maintien de l'actif. Afin de préserver la pertinence des modèles, l'information doit être maintenue à jour, refléter l'utilisation des espaces et renseigner au sujet de l'usure des équipements. L'importation de nouvelles données et la mise à jour du modèle 'tel que maintenu' sont des défis qui impliquent une grande coordination au niveau de la gestion de l'information. À cet égard, établir des normes de formats et de transferts de données peut s'avérer essentiel (Laurini, Rotilio, Lucarelli, & De Berardinis, 2019). Une gestion d'information plus efficace permettra éventuellement d'intégrer en temps réel les données issues d'objets connectés (internet of things, IOT) aux modèles BIM afin de les garder à jour virtuellement en tout temps (Hamledari, Rezazadeh Azar, & McCabe, 2018).

1.6. Synthèse de la revue de littérature

Cette revue de littérature a su mettre en lumière comment le BIM peut aider à faire face aux enjeux de la gestion des actifs. De cette prémice s'ensuit un constat des particularités singulières de l'industrie québécoise de la construction et des enjeux que ces particularités représentent pour l'implantation du BIM à la gestion des actifs. Les stratégies à adopter pour faire face aux enjeux québécois reliés à l'implantation du BIM-GEM reposent sur un concept de standardisation afin d'optimiser la performance des parties prenantes. La normalisation des processus de gestion de l'information établit une base commune aux stratégies d'implantation du BIM et propose un cadre de référence pour aider les parties prenantes à s'adapter face aux changements dans leur milieu de travail.

De par la nature intégrée du BIM et du processus de gestion de l'information préconisé par la norme ISO 19650, il est raisonnable de supposer que les enjeux à l'égard de leur implantation dans l'industrie locale sont étroitement liés avec les caractéristiques propres à cette l'industrie. Identifier ces liens de causalité peuvent aider à améliorer le processus d'implantation de la norme ISO 19650 et contribuer à améliorer l'intégration du BIM à la gestion des actifs. La littérature semble suggérer que la fragmentation de l'industrie

Québécoise est accentuée par les réglementations locales ainsi que par l'isolation géographique des acteurs de la construction. Ceci peut représenter un défi supplémentaire pour l'implantation de la section ISO 19650-2 de la norme, qui s'attarde particulièrement à la phase de réalisation des actifs.

1.6.1. La norme ISO 19650 et la maturité de l'industrie

La gestion de l'information destinée à l'opération et au maintien de l'actif est un processus complexe qui a pour objectif de permettre aux propriétaires d'utiliser les livrables numériques de façon à optimiser la création de valeur via la gestion des actifs. Le moment charnière de ce processus est le transfert de l'information de l'entrepreneur vers l'équipe FM. Le transfert d'informations, documenté dans les exigences d'échange d'informations (*exchange information requirements*, EIR), repose sur l'implantation des OIR et des AIR, définis par les propriétaires et les gestionnaires d'actifs (Ashworth, Tucker, & Druhmann, 2019).

Or, la norme ISO 19650 recommande de confier la tâche de gestion de l'information aux parties prenantes les plus compétentes. Ceci peut s'avérer problématique dans le contexte d'une industrie au degré de maturité relativement bas. Tel que démontré par le tableau 1.6.1, la majorité des parties prenantes de l'industrie de la construction n'ont aucune, ou peu d'expérience avec l'implémentation du BIM ou avec la rédaction d'exigences d'informations (OIR et AIR). Les parties prenantes compétentes qui peuvent réaliser ces tâches sont donc peu nombreuses et il est légitime de supposer que la majorité du travail et des responsabilités liés à la gestion de l'information finit par reposer sur un petit nombre de parties prenantes. Les grands écarts de maturité BIM entre les acteurs de l'industrie de la construction au Québec constitue peut-être un obstacle à la croissance de maturité des parties les moins expérimentées. En effet, la partie prenante la plus mature prend responsabilité de la majorité des tâches liées à la gestion de l'information, ce qui laisse peu de place à l'amélioration des parties novices.

Tableau 1.2 Expérience des parties prenantes concernant l'utilisation ou la rédaction de documents structurant le processus BIM
Tiré de Ashworth, Tucker, & Druhmann (2017)

RESPONDENTS WERE ASKED IF THEY HAD ANY EXPERIENCE OF PREPARING OR USING A RANGE OF KEY DOCUMENTS USED IN THE BIM PROCESS. FEEDBACK WAS AS FOLLOWS:	HAVE WRITTEN AND IMPLEMENTED	HAVE IMPLEMENTED BUT NOT WRITTEN	KNOW OF BUT NOT IMPLEMENTED/WRITTEN	NO EXPERIENCE
Asset Management Strategy (e.g. ISO 55000 or other)	12.2%	8.3%	38.2%	33.1%
BIM Strategy	17.3%	9.4%	34.6%	30.3%
Organisational Information Requirements (OIR)	15.0%	9.4%	33.1%	34.3%
Asset Information Requirements (AIR)	18.9%	12.6%	31.5%	28.7%
Employers Information Requirements (EIR)	20.1%	10.2%	26.4%	35.0%
BIM Execution Plan (BEP)	12.6%	8.7%	30.7%	39.8%

8.3% of respondents did not answer this question

Il est également raisonnable de supposer que les relations contractuelles entre parties prenantes influencent l'application des responsabilités de gestion de l'information, telles que définies par la matrice en annexe de la norme ISO 19650-2. Un mode de réalisation traditionnel, par exemple, risque de nuire à la transparence des parties consultées (*consulted*) et à la fluidité des informations destinées aux parties qui reçoivent l'information (*informed*). Les modes de réalisation axés sur la collaboration, tels que les modes de réalisation conception-construction, sont mieux adaptés au partage des responsabilités sans égard aux rôles des parties prenantes.

1.6.2. La norme ISO 19650 et le protocole d'informations appliqué aux contrats

Les modes de réalisation et les ententes contractuelles qui lient les parties prenantes d'un projet peuvent avoir beaucoup d'influence sur l'implantation du BIM et l'intégration des normes à l'industrie. Le concept intégré du BIM et les recommandations énoncées par la norme ISO 19650, qui promeuvent une gestion transparente et fluide de l'information,

suggèrent la mise en place d'ententes collaboratives entre parties prenantes. Pour ce qui est du contenu des livrables, exiger que les modèles BIM soient considérés comme documents de référence, au lieu d'exiger des plans traditionnels, donne plus de poids à l'importance du modèle. Il est suggéré par la norme d'intégrer ces exigences au contrat sous forme d'annexe, appelée protocole d'informations.

La norme ISO 19650 définit les modèles BIM comme étant des conteneurs d'informations, au même titre que n'importe quel autre document. Ce faisant, Svetel et al. prétend que la norme elle-même contribue à ce que les modèles BIM ne soient pas perçus par l'industrie à leur juste valeur. Les modèles BIM supportent un processus de travail qui couvre l'ensemble du cycle de vie de l'actif. Selon lui, les définir comme étant de simples objets servant à transférer de l'information d'une partie prenante à l'autre n'est pas suffisant pour leur donner l'importance qu'ils méritent et aider à implanter le processus collaboratif que leur production requiert (Svetel et al., 2020).

1.6.3. La norme ISO 19650 et le profil de l'écosystème technologique

L'implantation du BIM dans chacune des phases du cycle de vie de l'actif engendre la multiplication d'outils et de plateformes technologiques. En plus d'aider les parties prenantes à prendre des décisions informées, la technologie est aussi utilisée pour automatiser certaines tâches. Un système automatisé est formé de diverses plateformes, objets connectés et bases de données. L'automation requiert un grand niveau d'interopérabilité pour que tous ces éléments puissent interagir sans encombre. Les objets connectés collectent des données qui permettent aux systèmes automatisés du bâtiment (*building automation system*, BAS) de contrôler divers systèmes, tels que les systèmes mécaniques du bâtiment.

Tel que mentionné précédemment, la meilleure façon d'assurer l'interopérabilité et la pérennité de systèmes complexes est l'utilisation de données à format ouvert. L'établissement de protocoles ouverts, tel que recommandé par la norme ISO 19650, aiderait

à améliorer le flux d'informations entre les diverses plateformes et bases de données, facilitant ainsi l'intégration du BIM à la gestion des actifs (Tang et al., 2020).

Les normes ISO sont souvent accompagnées d'annexes régionales qui apportent des précisions afin d'adapter les recommandations aux contextes régionaux. Il est par exemple raisonnable de s'attendre à ce que le Canada ait son annexe régionale prochainement. Il est cependant également possible que l'industrie s'adapte aux nouvelles normes en développant des solutions qui répondent aux recommandations formulées par celles-ci (Svetel et al., 2020). Il est donc possible de croire que l'industrie pourrait s'aligner sur une stratégie technologique commune utilisant des données à formats ouverts. Ceci impliquerait cependant que la majorité des fournisseurs de logiciels et de plateformes repensent leurs stratégies d'affaires.

1.6.4. Les indicateurs d'application de la norme ISO 19650

La norme ISO 19650 balise le processus de gestion de l'information en fixant des objectifs et en donnant des recommandations. Une certaine latitude est donnée aux parties prenantes quand vient le temps de développer la stratégie d'application de la norme, permettant ainsi aux équipes projet de s'adapter en fonction des conditions spécifiques au projet. Ceci fait en sortes qu'il est parfois discutable de confirmer si le processus d'un projet satisfait la norme, ou pas (Winfield, 2020).

Il est donc important d'identifier les documents et les outils discutés dans la norme qui témoignent de l'intégration de la norme au processus de travail. Dans le contexte d'exigences contractuelles, ces documents peuvent servir d'indicateurs tangibles qui permettent de documenter l'application de la norme. Ces indicateurs d'application de la norme ISO 19650 au processus de travail sont discutés au chapitre 3.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

L’objectif de cette recherche est d’observer ce que la norme ISO 19650 apporte au processus de travail des parties prenantes en contexte de projets de construction québécois. Ce faisant il sera possible d’identifier les obstacles potentiels à son application.

La méthode utilisée pour cette recherche est l’étude de cas qui s’inscrit dans une épistémologie constructiviste étant donné que l’intérêt porte sur le processus actif des sujets et non pas sur le résultat final du projet (Avenier, 2011). La complexité du phénomène étudié et la nature intégrée du processus de travail auquel s’applique la norme ISO 19650 justifie ce choix. Le cas étudié a été choisi pour son contexte géopolitique, étant donné que l’application de la norme ISO 19650 n’a pas encore été documentée au Québec. Il s’agit de ce que Yin qualifie de “cas révélateur”, c’est-à-dire un cas qui permet d’observer et d’analyser un phénomène préalablement inaccessible (Yin, 2009). L’hypothèse que le contexte québécois peut exercer une influence sur l’application de la norme est à vérifier. Une approche qualitative est adoptée pour le recueil des données puisque le comportement des individus et l’application de la norme seront induits à partir du niveau de qualité des artefacts étudiés ainsi qu’à partir de la perception des parties prenantes face aux changements qui leur sont demandés. L’ensemble du processus d’analyse se fait dans un paradigme interprétatif, étant donné l’implication du chercheur et des interactions entre celui-ci et les parties prenantes du cas (Miller, Chan, & Farmer, 2018).

Il s’agit d’une étude de cas de type intrinsèque étant donné que le cas offre l’opportunité de comprendre l’application de la norme ISO 19650 à un projet local sans toutefois généraliser les résultats (Stake, 1995). Documenter le cas a cependant pour avantage de favoriser le transférer de connaissances aux acteurs de l’industrie (Edirisinghe, 2015 ; Merschbrock & Munkvold, 2015). Tirer des leçons de la tentative d’implantation de la norme ISO 19650 au processus de travail de ce projet devrait donc contribuer à la progression de l’industrie

québécoise de la construction concernant l'adoption du BIM. La documentation du cas se fait de trois façons :

1. Étudier les artéfacts mentionnés dans la norme ISO 19650. Ce sont des documents, tels que des matrices et des tableaux, qui sont produits et mis à la disposition des parties prenantes afin de supporter le processus de gestion du projet. Ces artéfacts témoignent de l'application de certains des processus recommandés ou cadrés par ISO 19650 et servent à documenter le succès de l'application de la norme;
2. Observer les interactions entre parties prenantes et noter leurs commentaires ou réflexions par rapport au projet. Les rencontres de coordination entre parties prenantes ont été observées et documentées. Il est possible d'en apprendre davantage sur la compréhension que les acteurs du projet se font de la norme et sur leurs intentions par rapport à son application en notant les sujets abordés et en étudiant les commentaires apportés.
3. Questionner les parties prenantes au sujet de leur expérience vécue au sein du projet. L'expérience vécue par les parties prenantes lors de la réalisation du projet est documentée via un questionnaire. Les questions sont formulées de façon à acquérir de l'information concernant la perception que les acteurs du projet se font des principaux concepts qui peuplent la norme ISO 19650. Le questionnaire vise à donner un aperçu du processus d'intégration de ces concepts au processus de travail du projet.

Dans un contexte d'étude de cas, il est important de recueillir des données de sources variées afin de trianguler les informations et renforcer les interprétations effectuées (Yin, 2009).

L'envergure de l'étude se limite à l'implantation de la norme ISO 19650 au processus de production des livrables numériques destinés au client. Seules les parties 1 (concepts et principes) et 2 (phase de réalisation des actifs) de la norme ont été appliquées dans le cadre du projet à l'étude. Il est attendu que le processus de gestion de l'information soit complexe et dynamique, impliquant de nombreuses parties prenantes. L'étude s'intéresse donc à l'ensemble de la chaîne de valeur, incluant l'entrepreneur, l'architecte, les ingénieurs, les sous-traitants et les fournisseurs.

2.1. Indicateurs d'application de la norme

Les artefacts identifiés dans la norme sont des outils qui servent à faciliter l'application de celle-ci. Ces outils aident principalement les parties prenantes à identifier qui fait quoi, à quel moment et de quelle manière au cours du processus de gestion de l'information. Selon les recommandations de la norme ISO 19650, tous les tableaux, formulaires, grilles ou diagrammes doivent théoriquement transiger par le CDE de façon à pouvoir être consultés par les parties prenantes concernées. Leur présence dans le CDE ne garantit pas hors de tout doute l'intégration de la norme au processus de travail des parties prenantes, mais ce sont des éléments tangibles qui démontrent que les parties prenantes possèdent des ressources pour prendre des décisions informées concernant la mise en application de la norme. Ces documents sont donc considérés, dans le contexte de cette recherche, comme étant des indicateurs de l'application de la norme.

De tous les documents qui cadrent le processus de livrables numériques, le Exchange Information Requirements (EIR) est probablement celui qui contient le plus de références à des indicateurs tangibles de l'application de la norme ISO 19650. On y retrouve :

1. Des renseignements d'ordre technique, incluant les plateformes souhaitées par le client pour gérer les livrables numériques, les formats numériques exigés et le niveau de détail technique souhaité pour chaque livrable et les systèmes de maintien des actifs actuellement utilisés par le donneur d'ouvrage;
2. Des renseignements concernant les livrables numériques destinés au donneur d'ouvrage, tel que la liste des livrables numériques, l'évaluation des compétences de production numérique des parties prenantes, l'échéancier prévu des livrables numériques et l'usage que le donneur d'ouvrage prévoit faire des livrables numériques;
3. Des renseignements en lien avec la gestion du projet, et notamment la gestion de l'information, tel que les rôles et responsabilités des parties prenantes, le processus de coordination entre les modèles numériques provenant des différents professionnels, les standards de nomenclature des fichiers et les stratégies de contrôle de qualité des actifs numériques (Ashworth et al., 2017).

Les documents qui composent le EIR sont riches en indicateurs d’implication des parties prenantes. Plusieurs d’entre eux proviennent de la norme ISO 19650. Ce sont, entre autres, des formulaires et des matrices qui documentent l’implication des parties prenantes dans la planification de la gestion de l’information via le BIM. Lorsque les parties prenantes complètent ces documents, tel que la matrice des responsabilités, ils mettent en place un cadre directif qui implique un engagement de l’équipe projet envers l’implantation du BIM. Les indicateurs suivants sont ceux qui ont été étudiés dans le cadre de l’étude de cas:

1. Le CDE, qui concerne le volet technique du partage de l’information;
2. Les matrices d’exigences d’informations, qui concernent le volet des livrables numériques;
3. La matrice de responsabilité qui concerne le volet managérial du partage de l’information.

2.1.1. L’environnement de données commun (CDE)

Les constats pouvant être faits au sujet du CDE concernent trois volets: La plateforme utilisée, l’usage que les parties prenantes en font et l’information qu’on y retrouve. En analysant les paramètres et les fonctionnalités du CDE, il est possible de constater si celui-ci correspond aux attentes formulées par la norme. Son processus d’implantation, l’identité de son propriétaire et le processus utilisé pour partager les informations doit également correspondre aux suggestions de la norme. Finalement, les métadonnées associées aux informations qui y sont déposées donnent aussi un aperçu quant-au respect de la norme.

2.1.2. Les matrices d’exigences d’informations

Étant donné que l’objectif principal de la norme consiste à assurer la bonne gestion et le transfert de l’information, de sa requête jusqu’à son utilisation, il est logique d’inclure les exigences d’informations de l’organisation dans les indicateurs d’application de la norme. Le processus de formulation des exigences débute avec les OIR, c’est-à-dire les informations nécessaires pour le bon fonctionnement de l’organisation. La matrice qui aide le propriétaire à formuler les OIR peut prendre différentes formes mais le document inclut idéalement des

requêtes sous forme de questions fermées qui ne nécessitent pas de longues réponses. Les informations exigées pour le bon fonctionnement de l'organisation sont ainsi clairement énoncées par les gestionnaires de l'organisation. De ces OIR sont déduits les AIR, c'est-à-dire les informations requises spécifiquement pour le fonctionnement d'un bâtiment qui appartient à l'organisation. À l'instar de la matrice OIR, la matrice AIR permet de formuler ces exigences. Il y a quatre thèmes auxquels peuvent se rattacher les informations exigées par les AIR. Ces thèmes s'alignent sur les préoccupations abordées par les OIR, c'est-à-dire; les préoccupations légales, commerciales, financières ou techniques de la gestion (Collins, 2017). Dans le cas qui concerne cette recherche, les informations exigées dans les AIR se retrouvent dans la section de 01 99 10 du devis. Les EIR, c'est-à-dire les exigences en lien avec le partage des informations entre parties prenantes, se trouvent à la section 01 99 00 du devis et sont formulées en considérant les informations requises pour le projet (PIR) et les informations requises pour le bâtiment (AIR). Les documents qui renseigneront la recherche sur l'application de la norme seront donc les matrices OIR et AIR de formulation des exigences, ainsi que les sections 01 99 00 et 01 99 10 du devis.

2.1.3. La matrice de responsabilité

La matrice de responsabilité est un tableau indiquant les rôles et responsabilités des parties prenantes pour tout ce qui touche aux livrables numériques et à la gestion des actifs. La forme que prend cette matrice est libre à l'équipe projet, mais une matrice vierge est proposée en annexe de la norme 19650 sous forme de tableau RACI. Ce type de tableau identifie qui est le réalisateur d'une tâche (responsible, R), qui est responsable de la tâche (accountable, A), qui doit être consulté avant ou pendant la réalisation de la tâche (consulted, C) et qui doit être informé de la réalisation de la tâche (informed, I). Les axes du tableau contiennent l'identité des parties prenantes impliquées et la liste des tâches à réaliser. Il ne peut y avoir qu'une personne responsable par tâche (il s'agit de la personne qui donne l'approbation finale pour valider la tâche) mais il peut y avoir plusieurs exécutants (réaliseurs). L'identification des rôles et des responsabilités en lien avec la gestion de l'information est un besoin de base qui soutient l'ensemble du processus décrit dans ISO

19650. C'est pourquoi la présence de cette matrice, ou d'un équivalent, est considéré comme un indicateur d'application potentielle de la norme.

2.2. Minutes de réunions

Les minutes de réunions sont de précieuses sources d'informations concernant les enjeux qui préoccupent les parties prenantes au cours de la réalisation du projet. Les parties prenantes du cas étudié ont délibérément choisi d'aborder les questions en lien avec le BIM lors de réunions distinctes. Les notes prises lors de ces réunions, ainsi que les observations effectuées dans le cadre de cette recherche, seront étudiées avec l'objectif d'en apprendre davantage sur la compréhension que les acteurs du projet se font de la norme ISO 19650 et sur les mesures prises pour l'appliquer.

Les sujets discutés lors des réunions peuvent donner un aperçu des enjeux qui s'appliquent à la production ou à la gestion de l'information. Il peut également être intéressant d'identifier quels sont les sujets d'importance au niveau de l'application de la norme. Ces enjeux seront à considérer lors de la discussion des résultats.

2.3. Informations recueillies à l'aide du questionnaire et d'entrevues non structurées

Une rétroaction provenant des parties impliquées dans le projet permet d'apprécier une variété de points de vue se rapportant au contexte d'implantation du BIM et des enjeux en lien avec la norme ISO 19650. Les impressions et commentaires qui proviennent des individus directement impliqués dans la gestion des informations numériques et dans l'implantation de la norme permettent de compléter les informations recueillies à même les artefacts documentaires décrits aux point 2.1 et 2.2.

Un questionnaire en ligne a été distribué, le 6 décembre 2020, aux parties prenantes identifiées dans le répertoire de l'équipe projet, situé dans l'environnement de données commun. La consigne de distribuer le formulaire à tout sous-traitant ou tout collègue ayant

été impliqué dans la production ou la gestion d'information a été formulée dans l'invitation de participer au questionnaire. Les parties prenantes avaient jusqu'au 1er mai 2021 pour le remplir. Il y a eu six répondants, dont trois architectes, deux entrepreneurs et un sous-traitant en ventilation.

Ce questionnaire permet de documenter l'expérience vécue par les parties prenantes lors de la réalisation du projet. Les questions sont formulées de façon à acquérir de l'information concernant la perception que les acteurs du projet se font des principaux concepts qui peuplent la norme ISO 19650. L'objectif de ce questionnaire est de donner un aperçu du processus d'intégration de ces concepts au processus de travail du projet. Trois questions portent sur le profil général du répondant, deux questions portent sur la perception qu'il a de sa propre maturité BIM, une question est en lien avec l'expérience que le projet apporte au répondant et quatre questions portent sur les obstacles rencontrés lors de l'exécution du projet. Un exemplaire de ce questionnaire est joint en annexe I.

Des entrevues non structurées ont également été réalisées lors d'entretiens avec certaines parties prenantes ou consultants. Ces entrevues permettent de mettre en lumière certains enjeux et contribuent à dévoiler la complexité des relations entre parties prenantes en contexte collaboratif.

CHAPITRE 3

CONTEXTE DE L'ÉTUDE DE CAS

3.1. Concept de locomotive numérique

La locomotive numérique est un concept issu de la volonté du gouvernement québécois de stimuler l'avancement de l'industrie de la construction et l'adoption des technologies afin de rendre l'industrie plus performante. L'implémentation du soutien financier et la mobilisation de l'expertise capable de soutenir ces projets sont assurés par des partenaires tiers et non gouvernementaux.

L'objectif de la locomotive numérique est de faire progresser la maturité de l'industrie en faisant croître le bassin de connaissances parmi les parties prenantes. Pour y arriver, la locomotive numérique offre un soutien financier pour appuyer l'implémentation du BIM et permettre aux parties prenantes de gagner en expérience. Les projets qui se qualifient pour ces initiatives sont pilotés par des personnes ou des entreprises qui ont démontré de l'intérêt à planter le BIM dans un contexte de projet novateur et qui ont la motivation de faire progresser leurs connaissances dans le domaine de la modélisation de l'information de la construction.

Ainsi, plusieurs dépenses encourues par les parties prenantes de ce projet, qui sont en lien avec l'implantation du BIM, sont supportées par l'initiative de la locomotive numérique. Que ce soit pour couvrir des dépenses servant à développer les compétences des équipes de travail, ou bien des dépenses dédiées à l'achat de ressources informatiques, l'aide financière est un levier d'importance pour supporter les entreprises qui s'impliquent dans des projets innovants et qui prennent des risques économiques reliés à la nature avant-gardiste du travail à accomplir. La stratégie du gouvernement est d'abattre certaines barrières qui freinent l'implantation du BIM dans l'industrie et de mettre en marche les engrenages qui permettront de former des spécialistes. En effet, le temps et les dépenses liées à la formation des

employés, le coût des équipements et des outils technologiques ainsi que le manque de spécialistes BIM sont parmi les obstacles les plus dissuasifs pour les entreprises qui envisagent planter le BIM dans les projets (Ahmed, 2018).

3.2. Présentation du projet

Le projet qui fait l'objet de l'étude de cas est considéré comme étant un projet innovant à l'égard de la modélisation de l'information étant donné que le donneur d'ouvrage a l'intention d'utiliser le BIM dans le cadre des activités de gestion des actifs. Procéder à la modélisation de l'information en sachant que certaines données produites seront spécifiquement utilisées pour le maintien et l'opération du bâtiment est une expérience nouvelle pour bon nombre de parties prenantes.

Le projet, illustré à la figure 3.1, comprend 470 unités résidentielles réparties dans des bâtiments existants ainsi que dans des nouvelles constructions. L'étude de cas se penche uniquement sur la première phase du projet, qui a un budget de 40 millions de dollars et qui comprend 154 logements. Cette phase est constituée d'un bâtiment neuf de six étages, d'une superficie de plus de 11 000 mètres carrés et qui abrite, en plus des unités résidentielles, des espaces communautaires, des locaux de service tel qu'une buanderie et des cuisines, ainsi qu'une chapelle.

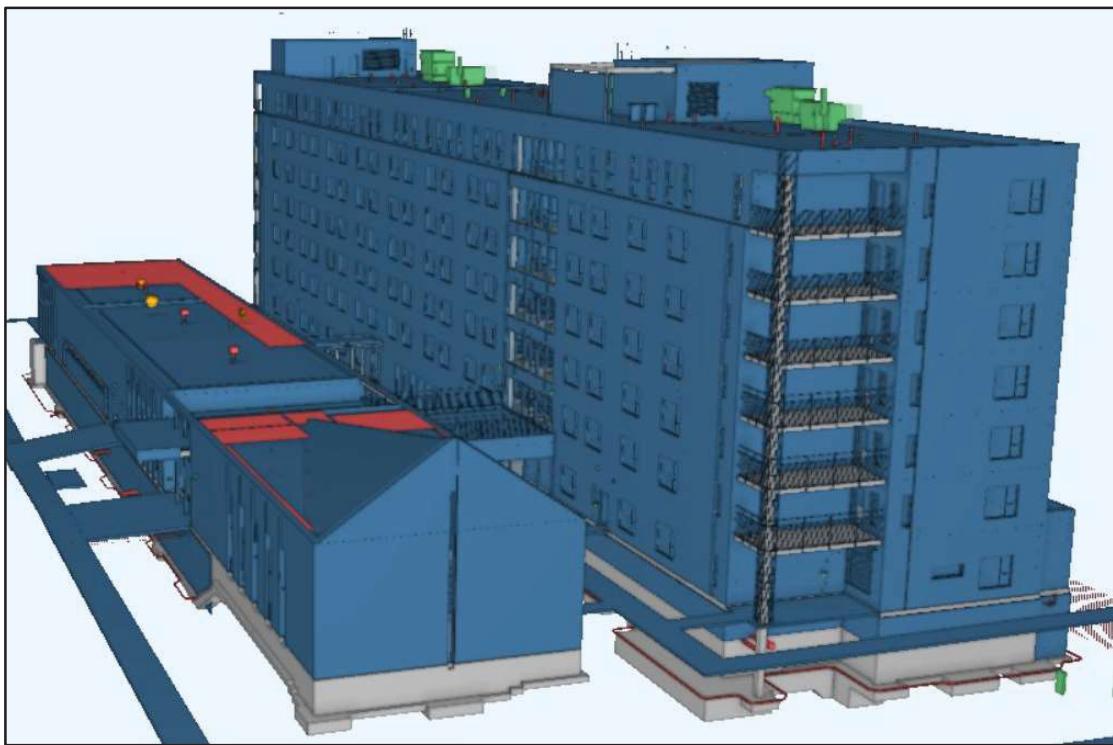


Figure 3.1 Vue axonométrique du modèle d'information du projet étudié

3.3. Rôle des parties prenantes

L'appel d'offre du projet a été lancé à la suite de la création d'un plan directeur réalisé collaborativement par les futurs occupants des lieux ainsi que par des représentants de la ville, des consultants en environnement, des architectes et les gestionnaires d'actifs qui auront la charge de l'opération et du maintien du projet. Tel que spécifié à la section 01 20 00 du devis, le mode de réalisation qui a été choisi par le donneur d'ouvrage est celui de conception-construction à forfait, plaçant le thème de la collaboration en toile de fond de l'exécution du projet. Les modalités de ce type de contrat sont énoncées dans le CCDC 14-2013

Le lot d'implantation du projet et les bâtiments existants qui s'y trouvent, appartenaient jusqu'à récemment aux futurs occupants de la phase 1 (l'étude de cas). Ce terrain a été cédé en échange de la construction de résidences correspondant aux besoins des futurs locataires.

Ces futurs occupants, qui seront locataires, ont conclu un partenariat avec l'organisme qui agira comme propriétaire et gestionnaire de l'actif. Ils exercent donc une forte influence sur la stratégie de gestion des propriétaires et sur les besoins du projet.

La figure 3.2 illustre les rôles de chacune des parties prenantes et les relations qu’elles ont entre elles. La tête de l’organigramme est occupée par le propriétaire. Un groupe de ressources techniques, spécialisé dans la gestion de projets de construction communautaires, assure la coordination entre le propriétaire, les futurs occupants et l’équipe de réalisation. L’équipe en charge de la phase de conception et de construction du projet est composée d’un entrepreneur, d’un architecte, d’un ingénieur en électricité et en mécanique, d’un ingénieur en structure ainsi que d’un architecte de paysage. Les sous-traitants, les ouvriers spécialisés et les consultants sont contractuellement liés à l’équipe de conception-construction.

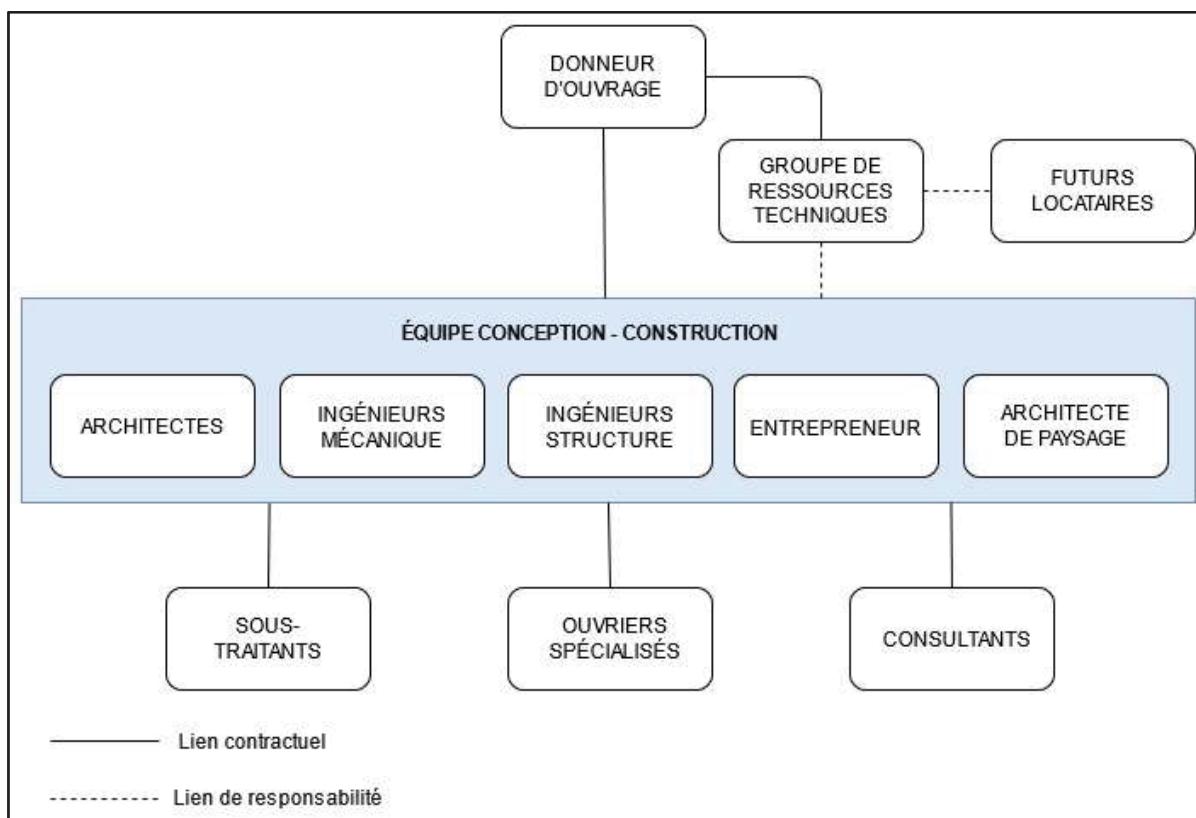


Figure 3.2 Organigramme des groupes de parties prenantes impliquées dans le projet

3.4. Maturité BIM des parties prenantes

La maîtrise des connaissances reliées au BIM varie grandement d'une partie prenante à l'autre. Le degré de maturité des parties prenantes influence la façon avec laquelle le BIM s'intègre au projet. Il a été démontré que le manque de compréhension des bénéfices qu'apporte le BIM est un obstacle à son implantation. La quantité de travail nécessaire pour compenser le manque de connaissances en est un autre (Becerik-Gerber et al., 2012).

Afin de comprendre les dynamiques de travail et les relations entre parties prenantes, il est pertinent de prendre en compte la maturité BIM des parties prenantes du projet. Pour les besoins de la recherche, seules les parties prenantes impliquées dans le processus de transfert des données exigées par le propriétaire sont considérées. Le niveau de maturité est identifié à une des quatre catégories suivantes : novice, débutant, intermédiaire et avancé. Novice signifie que les connaissances reliées au BIM sont inexistantes. Débutant signifie qu'une initiation aux concepts de base du BIM a été réalisée. Intermédiaire signifie que les connaissances BIM sont suffisamment développées pour pouvoir les appliquer concrètement. Avancé signifie que les connaissances BIM sont développées à un point tel que la personne sert de référence et de conseiller pour les parties prenantes moins matures. Le tableau 3.1, ci-dessous, donne un aperçu du déséquilibre de la maturité au sein de l'équipe projet. Les résultats proviennent d'une auto-évaluation effectuée par les répondants d'un questionnaire qui a été distribué à l'ensemble des parties prenantes.

Tableau 3.1 Résultat de l'auto-évaluation de maturité BIM des parties prenantes

Partie prenante	Niveau de maturité
Donneur d'ouvrage (propriétaire)	Novice
Architectes	Avancé
Ingénieurs de la mécanique du bâtiment	Débutant
Ingénieurs de la structure du bâtiment	Débutant
Entrepreneur général	Débutant
Sous-traitant ventilation	Avancé

Des six parties prenantes qui ont répondues, les architectes et les sous-traitants en ventilation sont ceux qui évaluent leurs connaissances BIM comme étant les plus avancées. C'est au sein de l'équipe d'architectes que se trouvent les champions BIM du projet. Ceux-ci aident à mettre en place les protocoles de gestion de l'information et répondent fréquemment aux questions des autre parties prenantes. Les ingénieurs de la mécanique du bâtiment semblent avoir eu de la difficulté à suivre le rythme de production des plus parties prenantes les plus matures, mais ont tout de même réussi à produire les livrables demandés. Le niveau débutant qu'ils se sont attribués semble bas considérant le travail accompli. Tout comme pour les ingénieurs de la structure du bâtiment, il est raisonnable de supposer que leur niveau de maturité a augmenté au cours du projet. Le donneur d'ouvrage est, quant à lui, la partie prenante du projet qui détient le moins de connaissances reliées au BIM. Il a cependant un rôle important à jouer au niveau de l'exécution de la norme ISO 19650 étant donné qu'il doit contribuer à la formulation des exigences d'informations et les utiliser une fois livrées. De son propre aveu lors d'une entrevue, à neuf mois de la date prévue du livrable, ses effectifs sont toujours novices concernant leurs connaissances du BIM.

CHAPITRE 4

RÉSULTATS

4.1. Analyse des indicateurs de la norme

4.1.1. Analyse des exigences d'informations

Les exigences de livrables numériques sont au cœur du processus BIM et forment le fil conducteur du processus de gestion de l'information tout au long du cycle de vie de l'actif bâti. Tel que mentionné aux points 1.5.1 et 2.1.2, les exigences formulées par la partie désignante doivent répondre aux besoins d'opérations et de maintien de l'actif bâti et s'aligner avec les besoins de l'organisation auquel l'actif appartient. Le donneur d'ouvrage doit donc être très impliqué au niveau de l'élaboration des exigences d'informations puisque celles-ci doivent s'aligner sur ses objectifs stratégiques.

Dans le contexte de cette étude, il a été constaté que la partie désignante n'avait pas la maturité numérique nécessaire pour formuler les exigences d'informations de façon autonome. Un parti tier a donc dû prendre la spécification des exigences en main afin d'assister l'identification des besoins et aider la partie désignante à comprendre le potentiel des livrables numériques. Pour y arriver, des tableaux de cas d'usages de l'information destinée aux propriétaires d'actifs ont été produits afin de renseigner la partie désignante de l'utilité des données. Ces tableaux (tableau-A II-1, tableau-A II-2 et tableau-A II-3) sont joints en annexe II.

Une matrice de formulation des exigences d'informations organisationnelles (OIR) ainsi qu'une matrice de formulation des exigences d'informations d'actifs (AIR) ont également été fournies afin d'aider la partie désignante à formuler ses besoins en termes d'informations utilisables pour le fonctionnement et l'exploitation des actifs. En plus de devoir être complétées par la partie désignante, ces matrices doivent être constamment mises à jour en

fonction de l'avancement du projet et de l'évolution des besoins. Les matrices de formulation des exigences n'ont cependant pas été complétées par la partie désignante. Pour pallier ce manque et en arriver aux exigences d'informations telles que formulées à la section 01 99 10 du devis (joint à l'annexe III), il a été demandé à la partie désignante d'identifier les éléments et les paramètres qui lui semblaient prioritaires à partir d'une liste d'équipements et de paramètres présélectionnés. La figure 4.1 documente une partie du résultat de cette activité. La liste de paramètres visible sur cette photo est tirée du guide intitulé *Asset Information Requirements Guide : Information required for the operation and maintenance of an asset* (Australasian BIM advisory board, 2018).

Priority 1 (Minimum)	Priority 2 (Basic)	Priority 3 (Intermediate)	Priority 4 (Advanced)	Priority 5 (Extended uses)
Asset ID	Asset category code	Asset is a system-isolating device (True/False)	Classification system name	Bar code
Asset name	Designation (for document references)	Classification code	Classification system version	Global Trade Item Number (GTIN)
Product type	System type/discipline	Manufacturer URL	Warranty duration parts	Expected Life
Campus or facility name	System ID	Country of origin or manufacture	Warranty duration - labour	Condition assessment date
Building ID	System name	Purchase date	Consumables location	Condition grade
Building name	Assembly type	Installation date	Spares location	Defects
Floor ID	Assembly ID	Warranty start date	Performance level	Shipping cost
Space ID	Assembly name	Extended warranty (Yes/No)	Finish: Floor	Assembly cost
Space name	Serial number	Certification or compliance properties to suit system or product	Finish: Walls	Installation cost
Location or GIS reference	Date of manufacture	Maintenance frequency	Finish: Ceiling	Installed cost
Make or manufacturer	Order number	Consumables identification	Finish: Doors	Maintenance cost
Product reference number	Warranty end date	Spares identification	Specification worksection code	Replacement cost
Product name	Warranty identifier	Performance properties to suit system or product	Specification worksection title	Total cost of ownership
Supplier name	Area (for spaces)	Baseline commissioning properties to suit system or product	Specification system name	Asset accounting category
	Source of consumables and spare parts	Height x length x width	Replacement cycle	Effective Life (ATO definition)
	Next certification inspection date	Thickness	Permit-to-work requirement	Accumulated depreciation
	Certificate identifier	Material	Potential hazard or risk	Written-down value
- <i>Manuel distribution</i>		Colour		Asset tax type
- <i>Manuel de pièces de rechange</i>		Finish		Asset insurance type
		3D model reference		Carbon footprint
		Resource reference		Item is new (True/False)
				Item is partially recycled (True/False)
				Item is recycled (True/False)
				Post-consumer recycled content
				Post-industrial recycled content
				Pre-consumer recycled content
				Gross weight
				Shipping weight

Figure 4.1 Processus de sélection des exigences d'information des actifs
Adaptée de Australasian BIM advisory board (2018)

Pour expliquer ses choix, la partie désignante mentionne l'importance de cibler les éléments qui requièrent un entretien fréquent (tel que la quincaillerie et la plomberie) ou les équipements qui sont nécessaires à la sécurité des occupants (tel que le système de protection incendie et le système de chauffage). Le processus laborieux d'identification des exigences d'informations destinées au propriétaire de l'actif et la forte assistance nécessaire pour y arriver remet cependant en question l'alignement réel des exigences avec les besoins du propriétaire. De plus, l'exercice itératif d'ajustements progressifs des exigences au cours la

réalisation du projet n'a pas été fait. Sans matrices d'exigences d'informations à jour et consultables, il peut devenir difficile pour les parties désignées de donner du sens à leur travail de production de livrables numériques. En effet, certaines parties prenantes ont mentionné, lors de réunions de coordination, qu'ils ne comprenaient pas l'utilité de fournir certaines des informations exigées. Le manque d'implication active de la partie désignante envers le développement et le maintien de matrices d'exigences d'informations peut entraîner des conséquences sur le suivi de qualité des livrables numériques, une tâche qui revient, selon la norme ISO 19650, à la partie désignée principale et à la partie désignante.

Étant donné que le projet se veut un banc d'essai pour l'intégration du BIM à l'ensemble du cycle de vie du projet, il a été convenu de limiter la charge de travail en lien avec les livrables numériques de l'équipe projet en exigeant uniquement les livrables numériques jugés 'critiques' par la partie désignante. Ceci a pour objectif de permettre aux parties moins matures d'intégrer le processus et contribue à accroître l'expérience de gestion numérique de l'ensemble de la chaîne de valeur. Le devis fait état de six systèmes et de 59 types d'actifs pour lesquels fournir des paramètres. Il y a un total de 43 paramètres identifiés qu'il est possible d'attribuer aux actifs et aux systèmes.

4.1.2. Analyse de l'environnement de données commun (CDE)

La plateforme utilisée pour partager les informations dans le cadre du projet étudié se nomme Procore. Il s'agit d'une base de données infonuagique qui est utilisée pour recueillir les informations du projet, sous forme de fichiers numériques, et les rendre accessibles aux parties prenantes concernées. Procore peut être considéré comme un CDE, selon la définition qui se trouve au point 3.3.15 de la norme ISO 19650-1. En effet, cette plateforme constitue la source d'information 'convenue' du projet et les 'conteneurs d'informations' (fichiers) y sont 'collectés', 'diffusés' et 'gérés'.

Le processus de gestion des informations au sein du CDE est précisé dans ISO 19650-1 et ISO 19650-2. L'analyse de la configuration de la plateforme Procore ainsi que l'utilisation

que les usagers en font peut donner des indices quant au niveau d'implantation du processus suggéré.

Tel que discuté au point 1.5.4 de ce mémoire, le processus de production et de partage d'informations passe par quatre états. Le point 12.2 de la norme ISO 19650-1 décrit le premier état comme étant le travail en cours. L'information qui se trouve dans cet état ne devrait être ni visible ni accessible aux équipes de travail non impliqués dans sa production. Bien que Procore offre la possibilité de limiter la visibilité des fichiers ou des documents qui y sont téléversés, les réunions de coordinations et les entrevues ont révélés que chacune des disciplines du projet gardent les informations ‘en cours’ dans des bases de données indépendantes, qui leur appartiennent. Ce sont, en quelques sortes, des CDE distincts qui permettent aux équipes de travail de gérer localement l'information ‘en cours’ avant de la transférer à l'état partagé sur le CDE infonuagique.

Selon le point 12.4 de la norme ISO 19650-1, l'information à l'état partagé doit être, consultable, visible et accessible par les parties concernées, mais non éditables. Bien que les fichiers contenant les modèles d'informations soient visibles et accessibles, Procore, tel que configuré dans le cadre de ce projet, ne permet pas de consulter l'information directement sur sa plateforme. Un message automatisé suggère de télécharger le modèle numérique et de le visionner sur un autre support lorsqu'on essaye de l'ouvrir sur la plateforme (figure 4.2). L'information n'est donc pas dans un état ‘partagé’ tel que décrit par la norme.

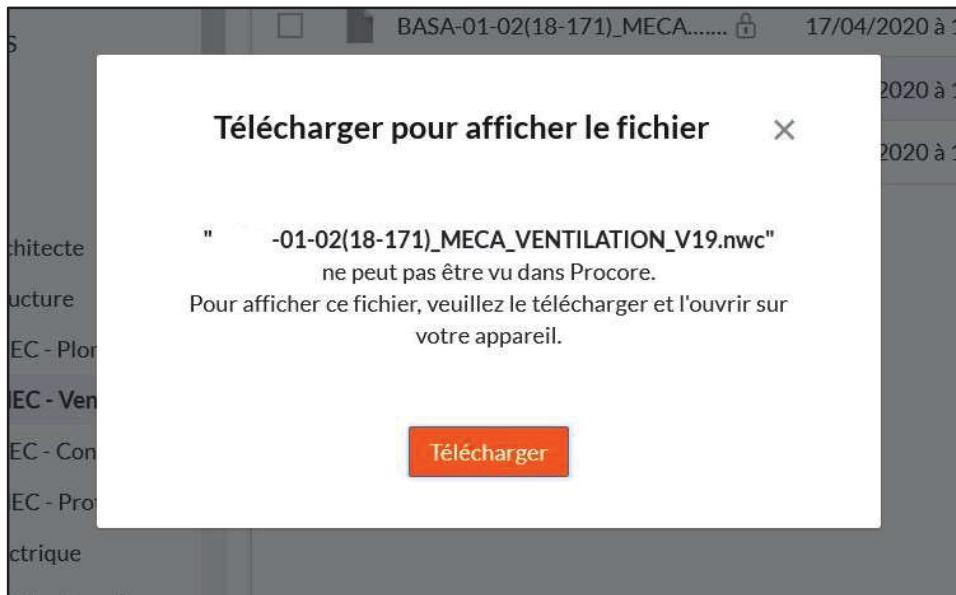


Figure 4.2 Message automatisé généré par la plateforme Procore

Il est pourtant possible d'effectuer la visualisation des modèles et l'intégration des informations provenant de diverses disciplines directement dans Procore via divers modules d'extension offerts directement dans l'application (figure 4.3). Il a été mentionné par l'entrepreneur que ces modules n'ont pas été installés dans le cadre de ce projet pour des raisons budgétaires.

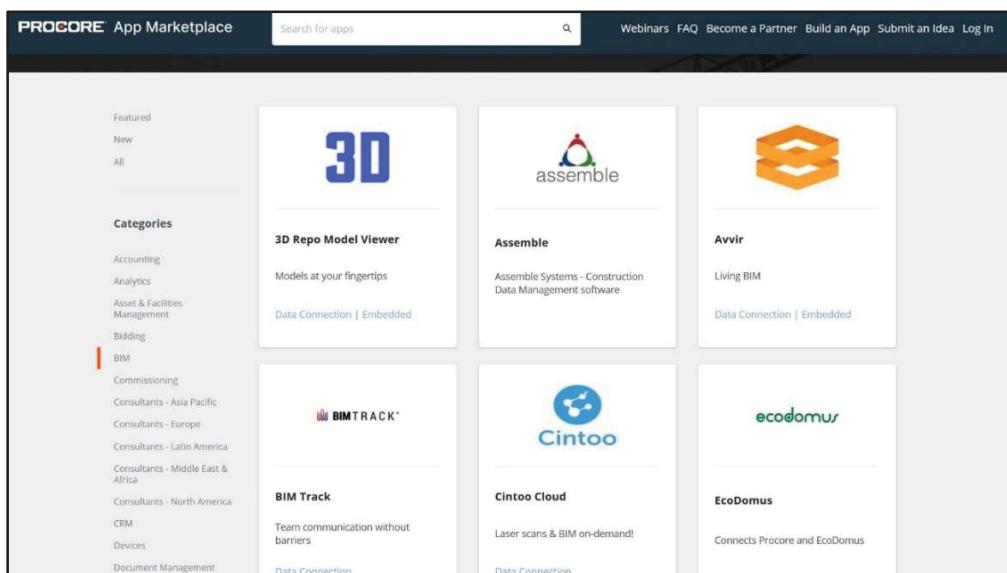
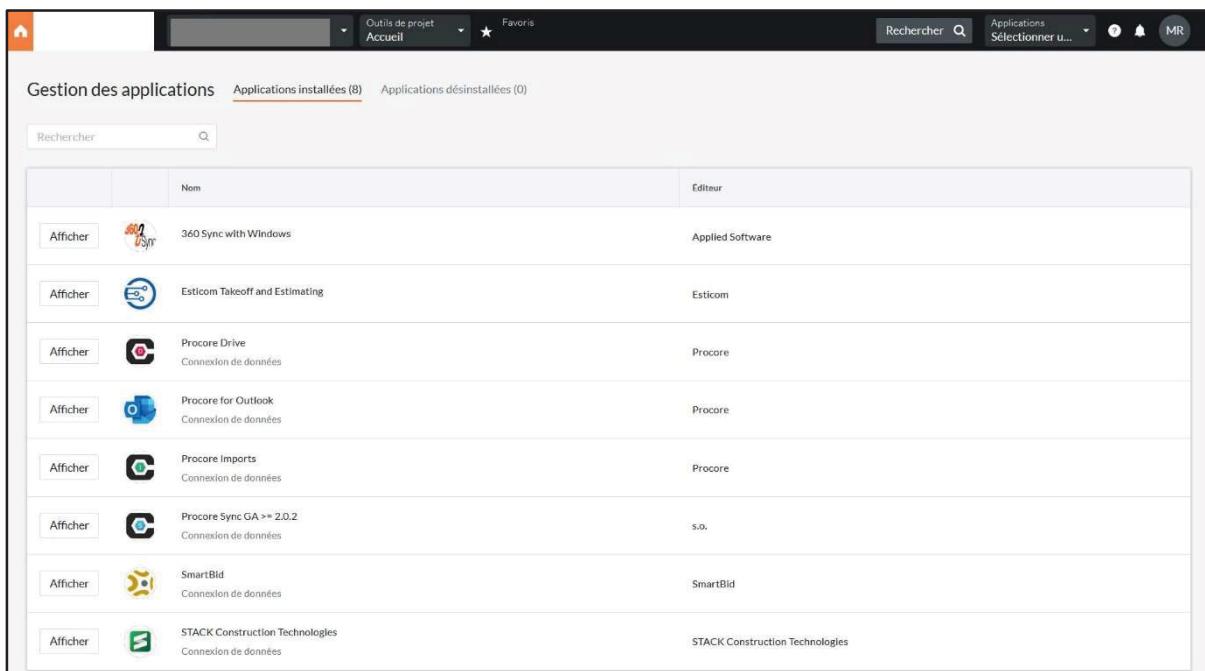


Figure 4.3 Modules d'extension disponibles

Il y a tout de même huit modules d'extension qui ont été ajoutés à la plateforme (figure 4.4). Ce sont des applications en lien avec la gestion documentaire (synchronisation des données et notifications automatisées) et à la production d'estimations budgétaires.

Certaines de ces solutions répondent à des recommandations de la norme ISO 19650-2. Tel est le cas pour le module '*Procore for Outlook*', qui relie les demandes de changements et les requêtes d'informations effectuées par courriel avec les informations présentes dans le CDE. Ce type de lien facilite, entre autres, la traçabilité du processus de contrôle de qualité.



The screenshot shows a software interface titled 'Gestion des applications'. At the top, there are tabs for 'Applications installées (8)' and 'Applications désinstallées (0)'. Below the tabs is a search bar labeled 'Rechercher'. The main area is a table with columns 'Nom' (Name), 'Éditeur' (Editor), and 'Actions' (labeled 'Afficher'). The table lists eight installed extensions:

	Nom	Éditeur
Afficher	360 Sync with Windows	Applied Software
Afficher	Esticom Takeoff and Estimating	Esticom
Afficher	Procore Drive Connexion de données	Procore
Afficher	Procore for Outlook Connexion de données	Procore
Afficher	Procore Imports Connexion de données	Procore
Afficher	Procore Sync GA >= 2.0.2 Connexion de données	S.O.
Afficher	SmartBid Connexion de données	SmartBid
Afficher	STACK Construction Technologies Connexion de données	STACK Construction Technologies

Figure 4.4 Modules d'extension installés sur le CDE

Les parties prenantes ont su adapter leur processus de travail à l'absence de modules de visualisation et de coordination en téléchargeant les modèles d'informations sur leurs bases de données locales avant de les téléverser dans un logiciel de coordination externe au CDE, du nom de BIM Track (figure 4.5).

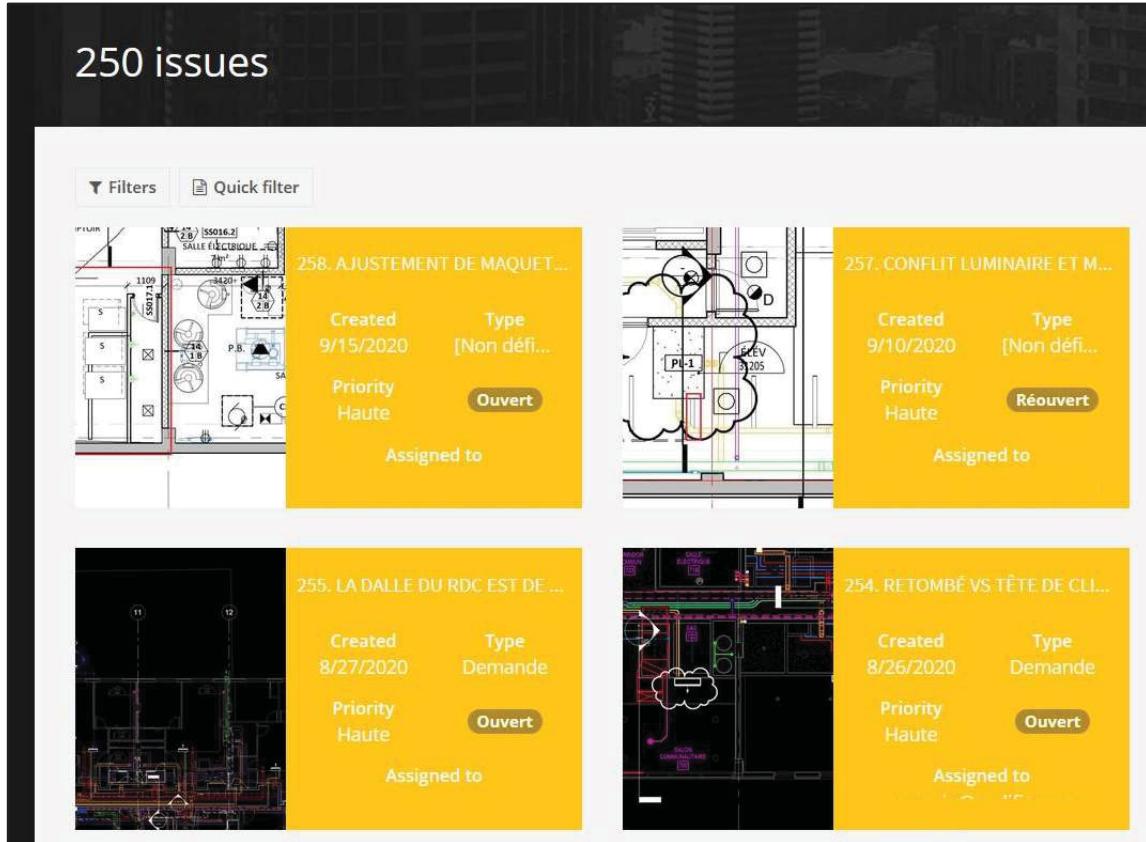


Figure 4.5 Coordination de l'information à l'état partagé

La fédération des modèles d'informations s'effectue donc uniquement dans un logiciel extérieur au CDE et non pas directement dans celui-ci, tel que suggéré par le point 11.1 de la norme ISO 19650-1. Les corrections nécessaires sont apportées aux modèles d'informations (état en cours) avant que ceux-ci soient redéposés sur Procore. Un code de révision est automatiquement attribué au modèle et inclus dans les métadonnées du fichier, tel que recommandé aux points 11.3 et 12.1 de la norme ISO 19650-1 ainsi qu'au point 5.1.7 de la norme 19650-2 (figure 4.6). Procore n'inscrit cependant pas toutes les métadonnées recommandées par la norme, tel que l'état du conteneur d'information.

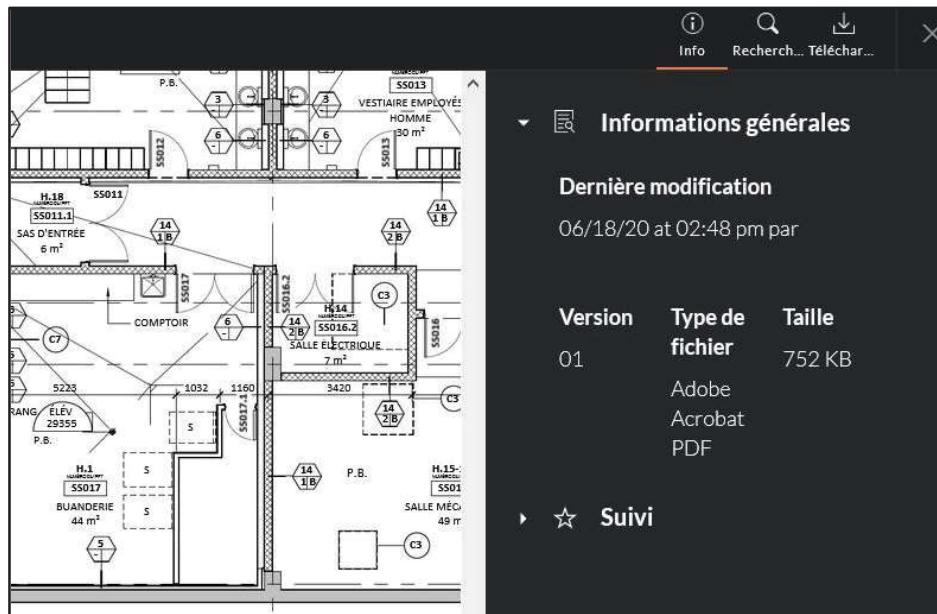


Figure 4.6 Exemple de métadonnées liées à un conteneur de données

L'état ‘publié’, tel que décrit dans 12.6, est l'état de toute information qui est autorisée à être utilisée. Une fois dans cet état, l'information est considérée livrée. C'est cette information qui se retrouve dans le PIM à la fin de la phase de construction et dans le AIM de la phase d'exploitation.

Toutes les informations du projet sont classées dans une arborescence de dossiers qui reflète le processus traditionnel de gestion d'information. Selon ce processus, les modèles d'informations de chacune des disciplines évoluent indépendamment et sont partagés périodiquement, selon un principe de progression linéaire (figure 4.7). Cette arborescence n'est pas représentative du processus de gestion d'information tel que défini par la norme ISO 19650, qui promeut un processus de développement itératif, entre l'état ‘en cours’ et l'état ‘partagé’, et un concept de référence unique.

The screenshot shows a software interface for managing project documents. On the left, there's a tree view of a project named "Nouvelle Résidence". Under the "09 - ÉMISSIONS OFFICIELLES" folder, several sub-folders are listed: "0-CCU", "0 - Architecte", "1 - Structure", "2a - MEC - Plomberie", "2b - MEC - Ventilation", "2c - MEC - Contrôle", "2d - MEC - Protection inc", "3 - Électrique", "4 - Architecture de paysa", "5 - Civil", "0-PERMIS", "1- 50 %", "2- 75%", "3- 95%", "3 - ÉMISSIONS OFFICIELLES", and "4 - POUR CONSTRUCTION 9". On the right, a table lists all the documents with their names, creation dates, and last versions. The columns are "Nom" (Name) and "Date de création/Dernière version" (Creation Date/Last Version). The table includes entries like "0-CCU" (25/11/2019 à 09:07), "0-PERMIS" (25/11/2019 à 09:09), "1- 50 %" (25/11/2019 à 09:10), "2- 75%" (25/11/2019 à 09:10), "3- 95%" (25/11/2019 à 09:10), "3 - ÉMISSIONS OFFICIELLES" (25/11/2019 à 09:07), "4 - POUR CONSTRUCTION 96%" (15/05/2020 à 13:23), "5 - POUR CONSTRUCTION 99%" (29/05/2020 à 12:07), "6 - POUR CONSTRUCTION 100%" (25/11/2019 à 09:10), "7-DIRECTIVES" (03/06/2020 à 12:09), and "8- DWG" (10/07/2020 à 10:01).

Nom	Date de création/Dernière version
0-CCU	25/11/2019 à 09:07
0-PERMIS	25/11/2019 à 09:09
1- 50 %	25/11/2019 à 09:10
2- 75%	25/11/2019 à 09:10
3- 95%	25/11/2019 à 09:10
3 - ÉMISSIONS OFFICIELLES	25/11/2019 à 09:07
4 - POUR CONSTRUCTION 96%	15/05/2020 à 13:23
5 - POUR CONSTRUCTION 99%	29/05/2020 à 12:07
6 - POUR CONSTRUCTION 100%	25/11/2019 à 09:10
7-DIRECTIVES	03/06/2020 à 12:09
8- DWG	10/07/2020 à 10:01

Figure 4.7 Informations structurées selon une logique d'avancement linéaire

Selon l'arborescence implantée, le dossier nommé ‘Pour construction 100%’ représente l’aboutissement du processus de développement de l’information et peut être considéré comme étant l’état ‘publié’. Les dossiers d’avancement partiel, tels que le 50%, 75% et 95% devraient être considérés comme étant dans un état ‘archivé’, tel que défini au point 12.7 de la norme ISO 19650-1.

En plus de suggérer un processus de gestion, la norme ISO 19650 suggère au donneur d’ouvrage de formuler certaines demandes concernant la qualité des données téléversées dans le CDE et d’implanter des mesures de sécurité afin de préserver la propriété intellectuelle et de s’assurer que les responsabilités professionnelles soient retracables. Procore permet de paramétriser l'accès aux informations afin de contrôler qui peut y avoir accès, tel que recommandé par le point 11.1 de la norme. Pour ce qui est de la qualité de l'information, le point 11.3 suggère de définir les formats ainsi que la classification à respecter pour les actifs du projet. Conformément à ce point, la section 01 99 00 du devis exige l'utilisation de formats IFC pour les modèles d'informations et le système de classification Unformat II et Omniclass tableau 23. Les fichiers téléversés sur Procore incluent tout de même des modèles

d'informations aux formats .rvt et .nwc. Les plans, le devis et les formulaires de gestion d'informations, tels que les formulaires de ‘question réponse technique’ (QRT) et les directives de changements sont téléchargés au format .pdf alors que les photos de chantier sont au format .jpg. Ces deux formats sont conformes à la suggestion de la norme de privilégier les formats ouverts.

Tel que mentionné dans la norme ISO 19650-2, en plus de servir une fonction de gestion de données, le CDE peut également gérer les communications entre les parties prenantes du projet. Dans le cas de Procore, des alertes automatisées de mises à jour sont envoyées aux personnes concernées par courriel (figure 4.8).

The screenshot shows an email titled "Notification de changement de gestion de document Procore". It includes a recipient's name, "Jeu 2021-04-22 13:26", and "A : Robitaille, Mathieu". Below the header, there is a message stating "Les 3 items suivants ont été modifiés dans le système de gestion de documents Procore." A table lists three modified items:

	Chemin du fichier	Fichier	Commentaires sur la version actuelle	Événements
Nouvelle Résidence	Nouvelle Résidence des EMISSIONS OFFICIELLES/7-DIRECTIVES /MÉCANIQUE /Directive de chantier DC-MP-14/	18171_DC-MP-14 (Dir de chantier).pdf		New file added 22/04/21 13 h 22
Nouvelle Résidence	Nouvelle Résidence des ÉMISSIONS OFFICIELLES/7-DIRECTIVES /MÉCANIQUE /Directive de chantier DC-MP-14/	01-02(18-171)_MECA_PLOMBERIE_V19.rvt		New file added 22/04/21 13 h 22

Figure 4.8 Alerte automatisée de mise à jour des informations

À la lumière des points mentionnés ci-haut, il est possible d'affirmer que la plateforme qui tient lieu de CDE pour le projet étudié n'est pas utilisée à son plein potentiel. Tel que mis en évidence dans le tableau-A IV-1, présenté à l'annexe IV, la configuration de la plateforme et la façon avec laquelle elle est utilisée ne répond pas aux recommandations technologiques et

procédurales de la norme ISO 19650. Les parties prenantes ont cependant réussi à adapter leur processus de travail afin de compenser certains manquements à la norme. Tel est le cas pour la coordination des modèles fédérés, qui se fait sur une plateforme tierce, ou pour l'indentification des états des conteneurs d'informations, qui se gère via une arborescence de dossiers et non pas via les métadonnées des fichiers.

Les recommandations émises par la norme ISO 19650 tiennent pour acquis un contexte collaboratif mature. Cependant, tel que discuté au point 1.2 de ce mémoire, la réalité est que l'industrie demeure fragmentée, tant au niveau des disciplines qu'au niveau du phasage des projets. Ceci affecte la capacité qu'ont les parties prenantes de mettre en place certaines recommandations, tel que l'implantation du CDE par la partie désignante en début de projet ou l'implantation d'un flux d'informations qui intègre les différents CDE des équipes du projet. Certaines normes régionales, complémentaires aux normes internationales, tiennent compte des spécificités de l'industrie et proposent des solutions qui adressent spécifiquement les défis locaux. Tel est le cas du DIN SPEC 91391, une norme allemande qui complémente la norme ISO 19650 au niveau de l'implantation du CDE. Cette norme, incluse au devis du projet étudié, adresse la fragmentation de l'industrie et propose des solutions face au morcellement du CDE et au besoin d'interopérabilité entre les multiples plateformes de gestion de l'information. C'est ainsi que le DIN SPEC 91391 reconnaît que l'implantation et la gestion du CDE peut être effectuée par la partie désignée principale dans certains cas (tel que celui du projet étudié) sans nécessairement compromettre l'intégrité de la gestion de l'information sur l'ensemble du cycle de vie.

4.1.3. Analyse de la matrice de responsabilités

La matrice RACI proposée en annexe de la norme ISO 19650 et discutée au point 2.1.3 n'est pas utilisée dans le cadre de ce projet. Un outil similaire, qui fait le suivi des tâches et l'assignation des responsabilités, est intégré à la plateforme Procore. Tel que démontré par le tableau de bord de la figure 4.9, chaque livrable est associé à un entrepreneur responsable (un exécutant, "R") ainsi qu'un responsable et un approuvateur (tous deux assignés au contrôle

qualité, “A”). Tous ceux ayant accès au tableau de bord sont informés (“I”) de l’avancement du livrable, mais l’identité des ressources consultables (“C”) pouvant fournir de l’information pertinente pour la progression du projet demeure introuvable. Ce tableau de bord est dynamique et évolue au fil du projet, tel que doit l’être la matrice de responsabilités proposée par la norme. Cependant, la liste de livrables utilisée dans le cadre de ce projet contient uniquement des documents tangibles et indépendants, tels que des fiches techniques ou des listes de quincailleries. Les livrables numériques, tels que les paramètres intégrés aux modèles d’informations, devraient théoriquement être détaillés dans le plan général des livrables d’informations (MIDP) et les plans de livrables d’informations des tâches (TIDP). Ces plans ne sont cependant pas présents sur la plateforme de partage des données.

The screenshot shows a software interface for managing project deliverables. At the top, there's a navigation bar with a home icon, project name "1909 - Nouvelle Résidence d...", a dropdown for "Outils de projet Livrables", a favorite star icon, and search/research functions. Below the header is a toolbar with "Rechercher" (Search), "Applications Sélectionner u...", a help icon, and a user profile icon. The main area is titled "Livrables" and contains a table with the following columns: N° (Number), Rév. (Revision), Titre (Title), Entrepreneur responsable (Responsible Party), Responsable (Responsible), Approbateurs (Approver), and Date d'échéance (Due Date). The table lists nine items, each with an "Afficher" (View) button. The data is as follows:

N°	Rév.	Titre	Entrepreneur responsable	Responsable	Approbateurs	Date d'échéance
315	0	Caisiers grillagés au SS	Louis Tremblay Anne Cormier Tremblay			18/05/2021
314	0	Clôisons toilettes	Caroline Gauthier			17/05/2021
313	0	Cléage	Caroline Gauthier, Nathalie Lepage			17/05/2021
312	0	Céramique Color and Dimensions - Unités et Aires Com...	Monica Mirella	Monica Mirella		14/05/2021
311	0	Seuils - Unités et Aires Communes	Monica Mirella	Monica Mirella		13/05/2021
310	0	Céramique Omnia - Unités et Aires Communes	Monica Mirella	Monica Mirella		13/05/2021
309	0	Génératrice-Banc de charge	Caroline Gauthier	Caroline Gauthier		12/05/2021
308	0	Ventilateur VE-4	Caroline Gauthier	Monica Mirella Caroline Gauthier		07/05/2021
307	0	Unité chauffe-conduit	Caroline Gauthier	Monica Mirella Caroline Gauthier Monica Mirella		05/05/2021

Figure 4.9 Tableau des responsabilités des livrables sur la plateforme Procore

Pour ce qui est des responsabilités en lien avec la coordination des modèles d’informations, la plateforme de coordination BIM Track, mentionnée au point 4.1.2, utilise également un processus de suivi et d’assignation des tâches. Le format BCF, utilisé par BIM Track, est un format ouvert tel que le format IFC discuté au point 1.4.2. Il s’agit d’un support de communication qui transporte les commentaires, questions ou identifications de conflits se

rapportant aux modèles d'informations d'une partie prenante à l'autre, peu importe le logiciel utilisé pour créer le modèle. Au lieu de contenir la géométrie du projet, le BCF se contente de communiquer les coordonnées spatiales des endroits problématiques ainsi que les commentaires qui s'y rapportent. La plateforme BIM Track effectue des liens entre les coordonnées, les modèles d'informations, les commentaires, les auteurs et les destinataires. Le tout est centralisé et facilement consultable, tel que démontré à la figure 4.10.

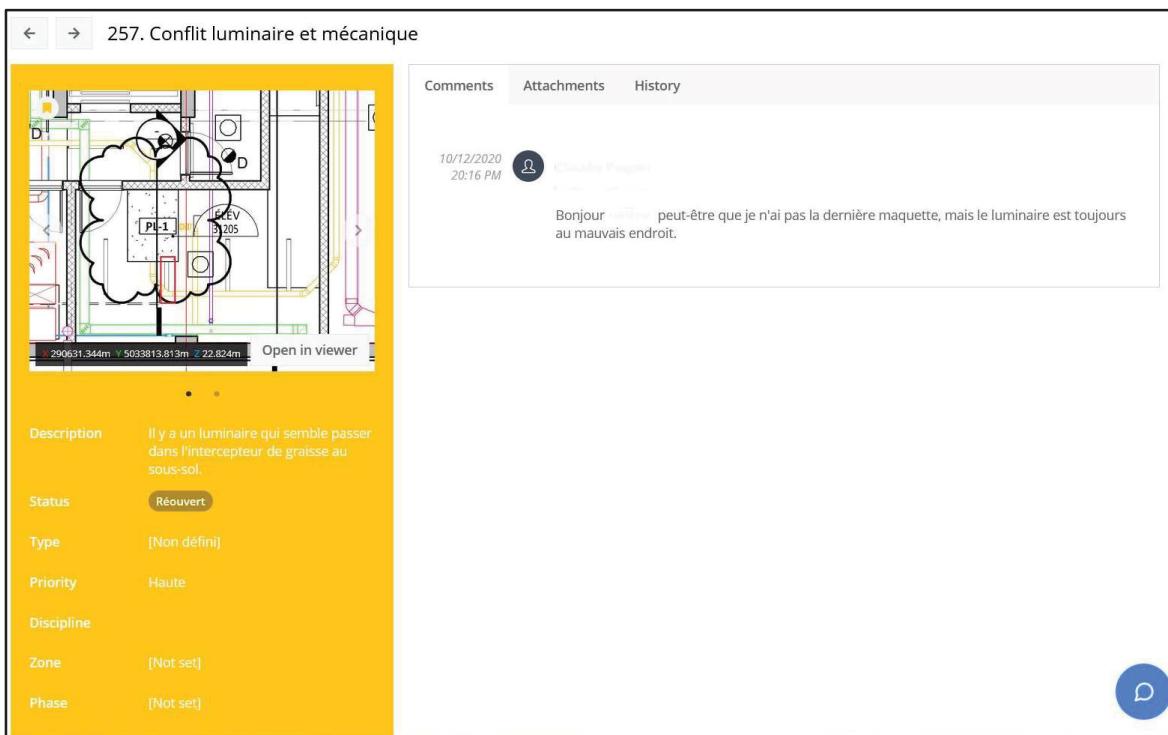


Figure 4.10 Le format BCF appliqué à la coordination des modèles numériques

Il existe une extension qui permet d'intégrer BIM Track au flux d'informations du CDE. Il est ainsi possible de créer des QRT dans Procore directement à partir des conflits gérés dans BIM Track et de procéder aux modifications nécessaires dans les outils de modélisation. Intégrer chacune de ces plateformes les unes aux autres, tel que schématisé dans la figure 4.11, facilite le flux d'informations, le processus de suivi et l'exécution des mises à jour.

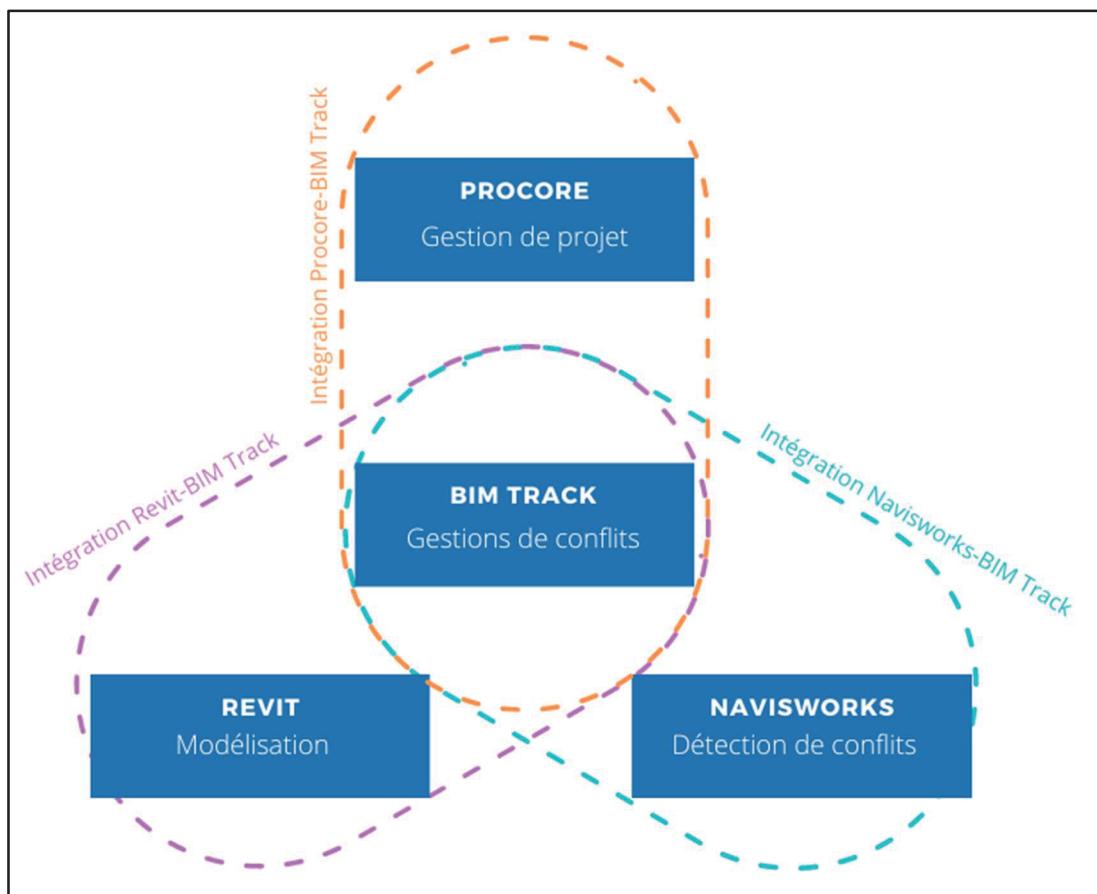


Figure 4.11 Flux de coordination des modèles d'informations, intégré au CDE

Cependant, tel que mentionné au point 4.1.2, l'équipe projet n'a pas exploité le plein potentiel des extensions disponibles pour Procore. Ceci implique que la coordination des modèles d'informations se fait en silo, en dehors de la section “partagée” du CDE. La coordination n'est pas nécessairement de moins bonne qualité mais le processus pour y arriver est plus complexe et demande plus de temps. Les demandes de changements n'ont d'ailleurs pas été transférées au flux de QRT sur Procore, ce qui fait que la gestion du volet de gestion des modèles est restée coupée de la gestion du flux de travail du reste du projet, tel que schématisé dans la figure 4.12.

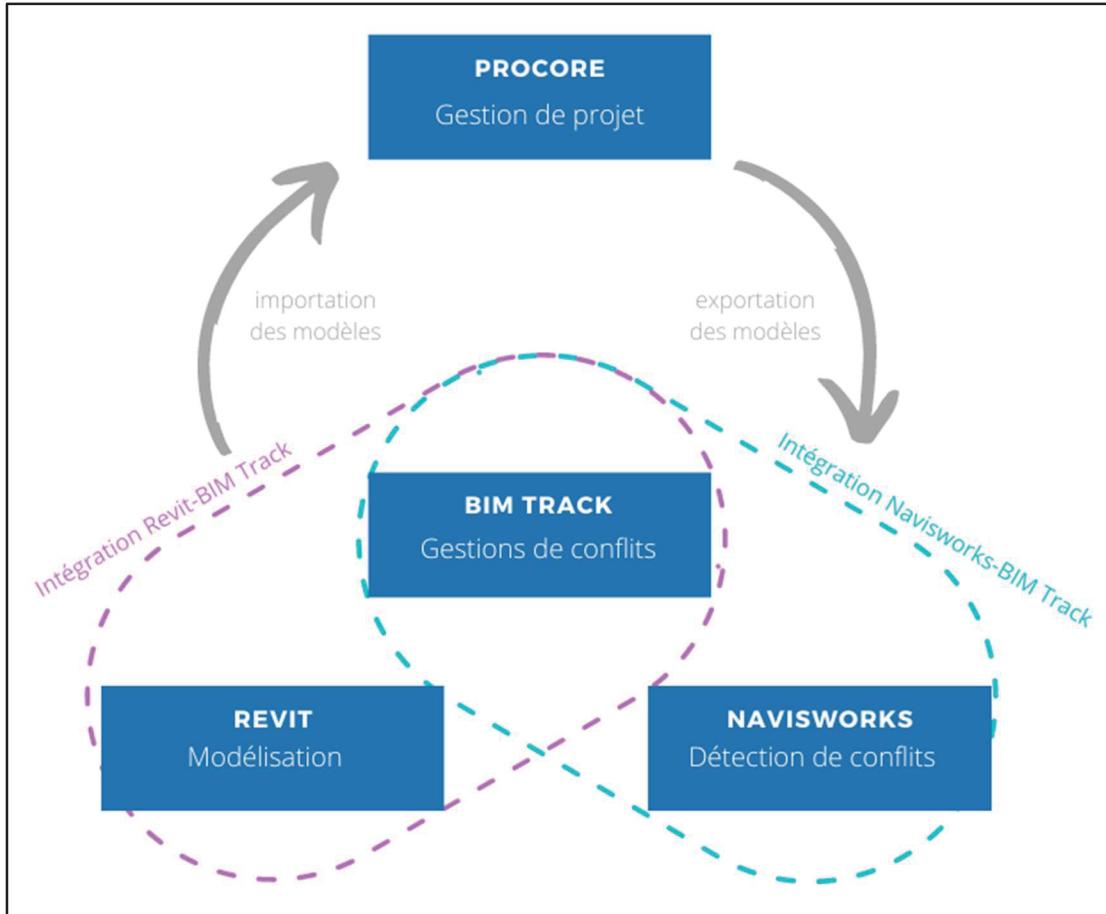


Figure 4.12 Flux de coordination des modèles d'informations, séparé du CDE

L'utilisation de BIM Track a commencé au mois de février 2020 et atteint un plateau au mois d'octobre 2020, avec une forte poussée d'identification de conflits pendant le mois de mars, tel que démontré par la figure 4.13.

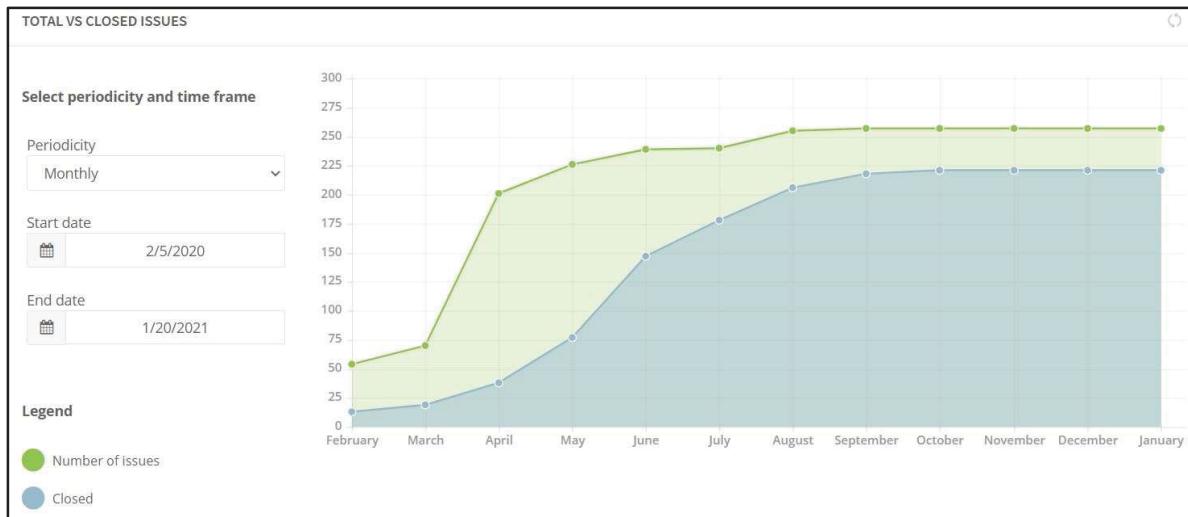


Figure 4.13 Évolution du nombre de conflits identifiés et résolus

Lorsqu'un conflit est identifié par l'autorité en charge du contrôle qualité, il est assigné à un professionnel de la discipline qui est responsable de corriger le problème. Les chargés de projet de l'entrepreneur et de l'architecte, ainsi que le conseiller de l'entreprise qui distribue la plateforme BIM Track ont témoigné, lors d'une entrevue, du bon déroulement du processus de coordination. Il a cependant été mentionné que les instances de conflits les plus nombreux sont en lien avec les disciplines qui se sont impliquées tard dans le processus de coordination. La figure 4.14 démontre que la discipline à laquelle est associée le plus grand nombre de conflits (87) est l'ingénierie mécanique. L'ingénierie mécanique a été identifiée par plusieurs parties prenantes, lors des entrevues, comme étant la discipline étant la moins réceptive et la plus lente à réagir lors du processus de coordination. Ce résultat doit cependant être relativisé étant donné que certaines disciplines ont une plus grande flexibilité pour s'adapter en cas de conflit et sont donc plus souvent identifiées comme étant les parties 'fautives' qui doivent effectuer les changements. L'ingénierie mécanique, qui comprend la plomberie et la ventilation, est une de ces disciplines qui doit régulièrement s'ajuster aux contraintes de la structure ou celles de l'architecture.

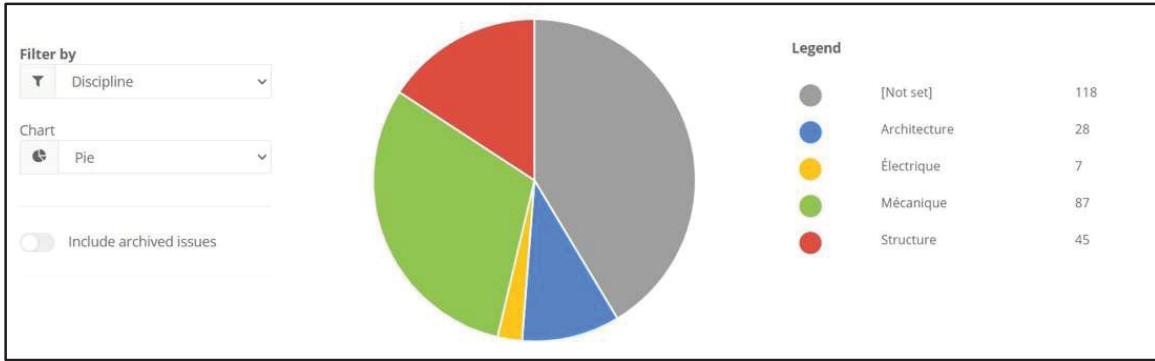


Figure 4.14 Disciplines à qui la responsabilité des conflits est assigné

Le taux de résolution des conflits est un indicateur plus représentatif de la réceptivité des parties prenantes. Selon les figures 4.15, 4.16, 4.17 et 4.18, les architectes ont résolu 71% des conflits qui leur ont été attribués, les ingénieurs électriques ont résolu 100% des conflits qui leur ont été attribués, les ingénieurs en mécanique ont résolu 94% des conflits qui leur ont été attribués et les ingénieurs en structure ont résolu 93% des conflits qui leur ont été attribués. C'est donc dire que, selon les rapports extraits de BIM Track, seuls les ingénieurs en électricité ont un plus grand taux de résolution de conflits que les ingénieurs en mécanique. Ceci ne tient cependant pas compte du temps de réponse des parties prenantes et de l'efficience de leur travail.

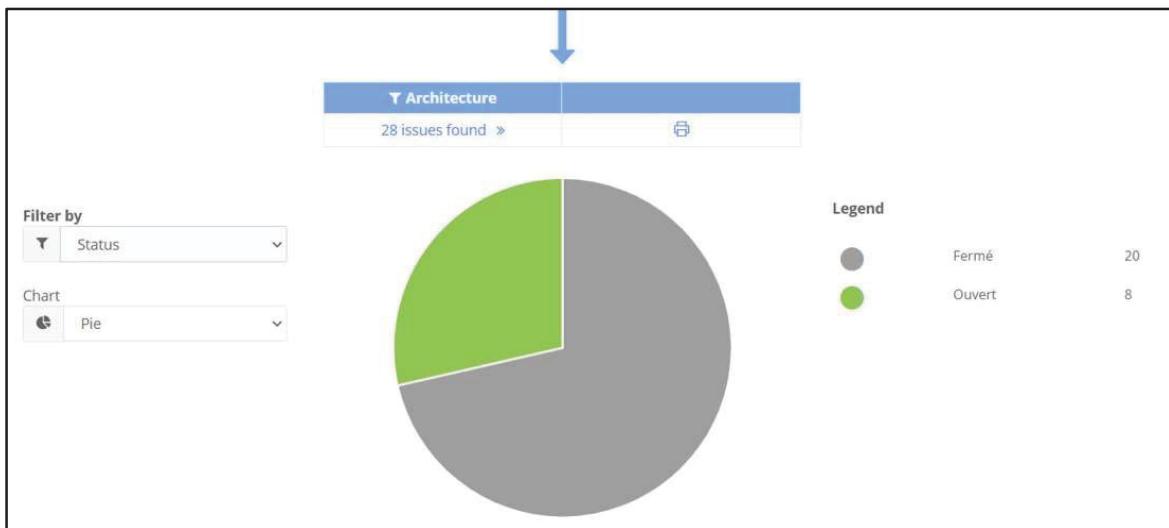


Figure 4.15 Conflits résolus et laissés en suspend par architectes

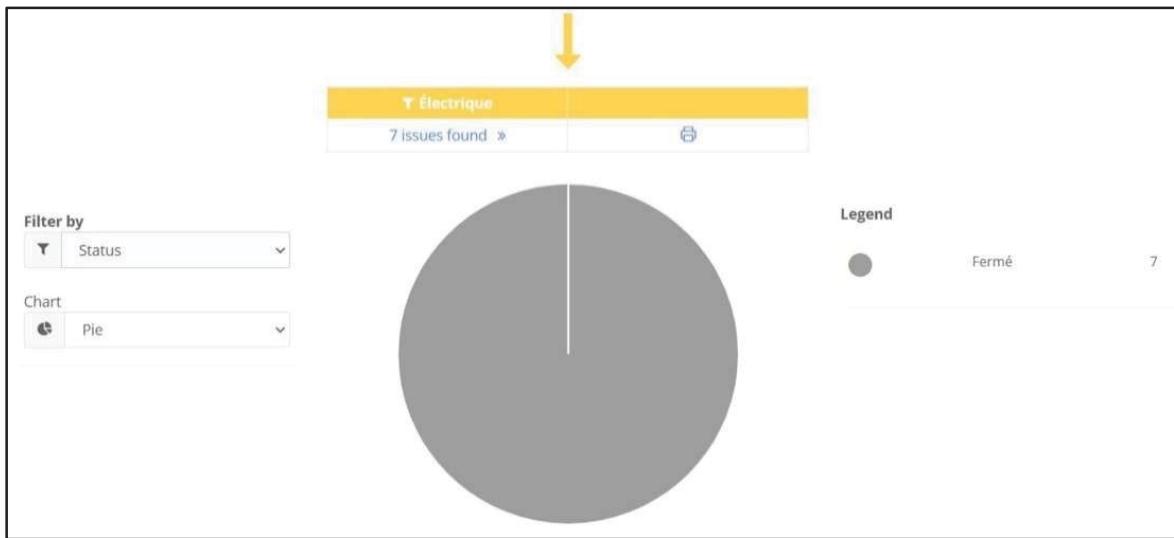


Figure 4.16 Conflits résolus et laissés en suspend par ingénieurs électriques

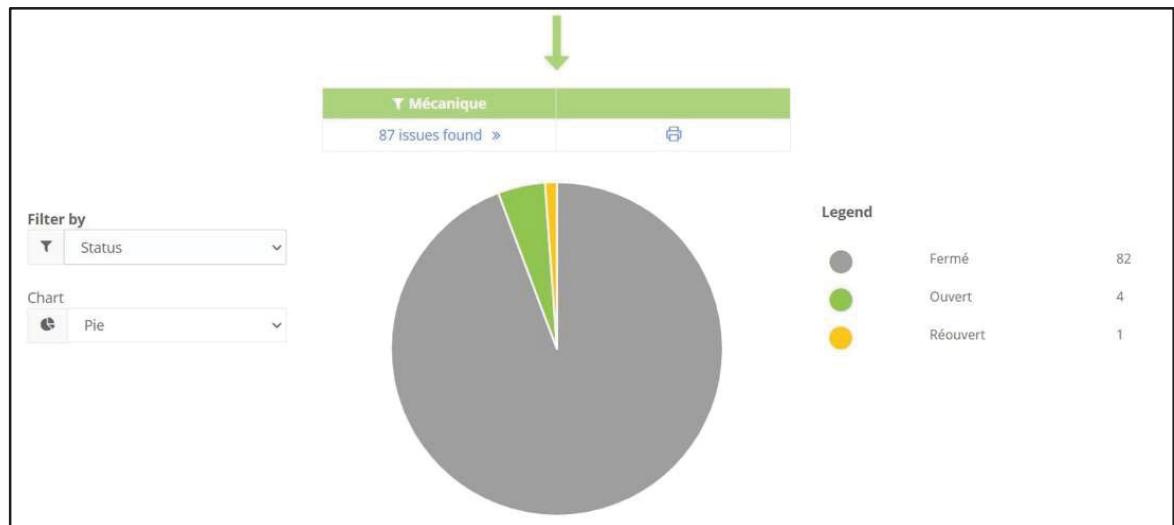


Figure 4.17 Conflits résolus et laissés en suspend par ingénieurs mécaniques

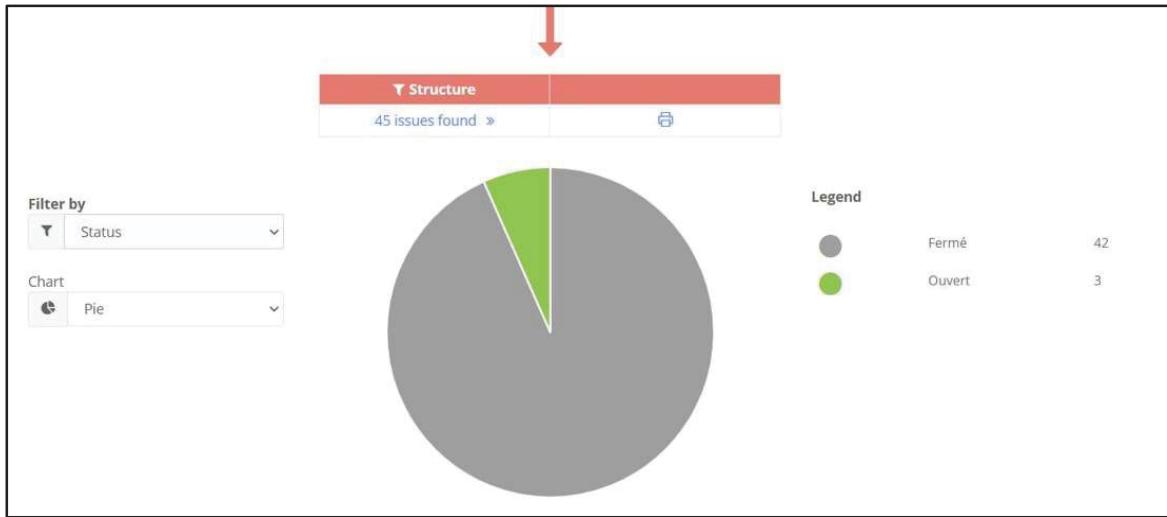


Figure 4.18 Conflits résolus et laissés en suspend par ingénieurs de structure

Finalement, 118 conflits n'ont pas été assignés à une discipline en particulier (Figure 4.19). Malgré ceci, 81% de ces conflits non assignés ont été résolus. Les conflits assignés aux architectes sont donc, supposément, les moins résolus à l'étape de coordination.

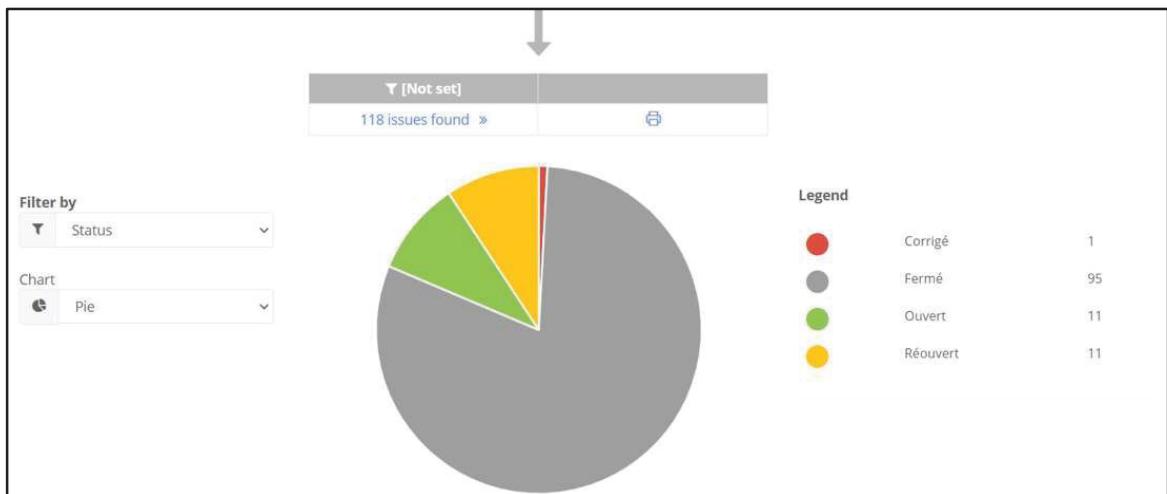


Figure 4.19 Conflits non assignés à une discipline qui ont été résolus et laissés en suspend

La discipline ayant signalée le plus d'interférences (87%) est l'équipe d'architectes (Figure 4.20). Ceci peut être dû au fait qu'il soit traditionnellement la responsabilité des architectes d'assurer la coordination de la phase de conception des projets de construction. L'aspect

collaboratif du BIM, la centralisation des données et la proposition de la norme d'assigner chaque tâche à la partie prenante la plus compétente aurait cependant pu faire place à un plus grand partage des responsabilités.

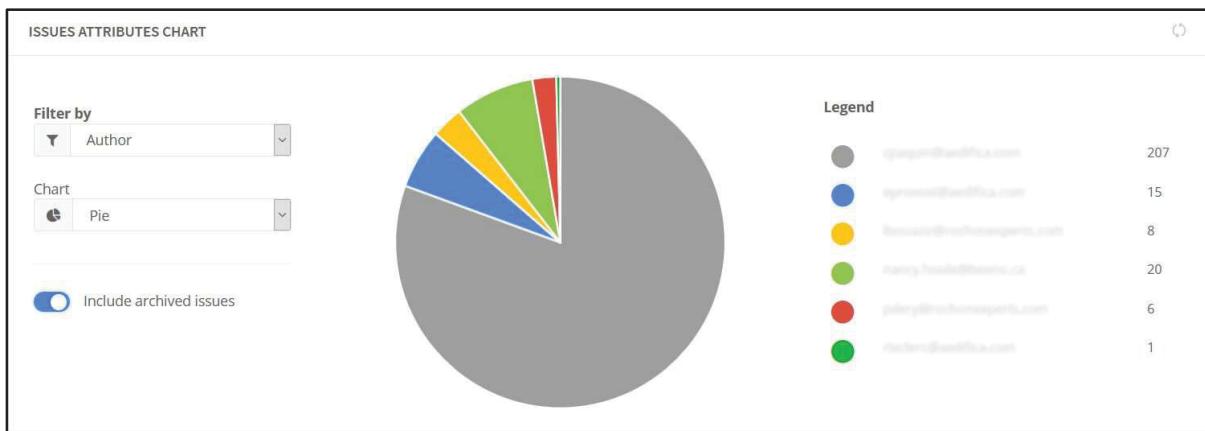


Figure 4.20 Auteurs des signalements de conflits

Il est à noter que les paramètres de BIM Track qui permettent d'assigner des conflits à des “zones” et à des “phases” n’ont pas été utilisés. Ces paramètres pourraient pourtant aider à prioriser la résolution de conflits en fonction de l’avancement du chantier. Ceci est d’autant plus utile dans un contexte de réalisation collaboratif, tel que la réalisation clé en main du projet étudié. La grande implication de l’entrepreneur, dès la phase de conception, peut aider à optimiser la coordination en fonction de l’échéancier de construction et éventuellement faciliter une planification dite “fast-track”.

Il est important de mentionner qu’aucun conflit identifié lors de l’étape de coordination est réellement resté non résolu. L’état des conflits n’a probablement pas été changé avant que cesse l’utilisation du logiciel de coordination par l’équipe projet. La fiabilité de l’information provenant de l’analyse de ces outils dépend donc de l’assiduité avec laquelle les parties prenantes utilisent ces outils de gestion de l’information.

4.2. Analyse du modèle numérique

Bien que le modèle numérique du projet ne documente pas le processus d'implantation de la norme en soi, son analyse permet de constater si les informations exigées par la partie désignante ont été intégrées au livrable ou pas.

Plusieurs informations exigées au devis sont absentes du modèle numérique. Tel est le cas pour, entre autres, la quincaillerie des portes, le fini des planchers ou les distributeurs de savon dans les salles de bains. Bien que la description du groupe de quincaillerie soit absente du modèle numérique (figure 4.21), le paramètre qui identifie le type de porte (Po-01) réfère au groupe de quincaillerie 1 de la section 08 71 10 du devis. Cette information sera donc probablement livrée de façon traditionnelle et non de façon intégrée au modèle.

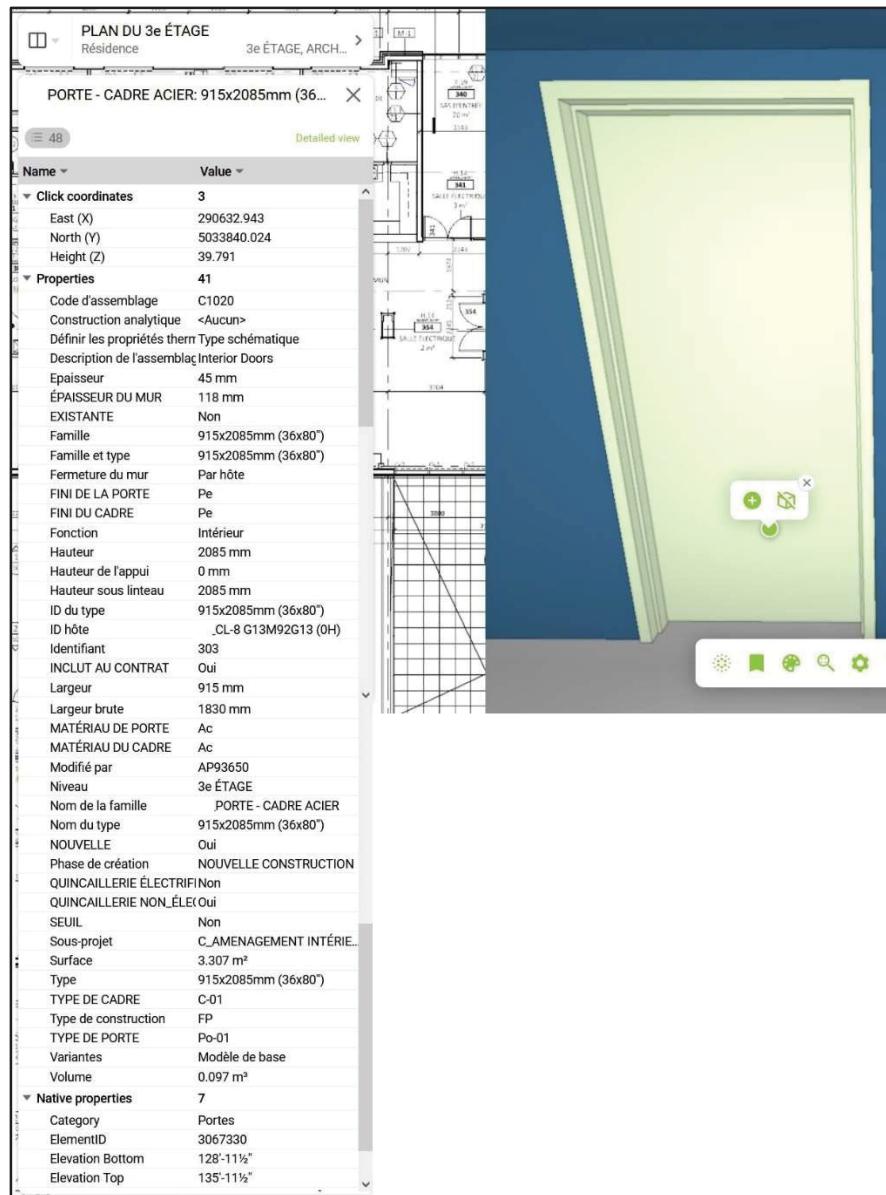


Figure 4.21 Informations volumétriques et paramétriques de la quincaillerie absentes du modèle numérique

Pour d'autres éléments, tel que la robinetterie des cuisines, l'information volumétrique est présente mais les informations paramétriques qui y sont liés sont celles de l'évier (figure 4.22).

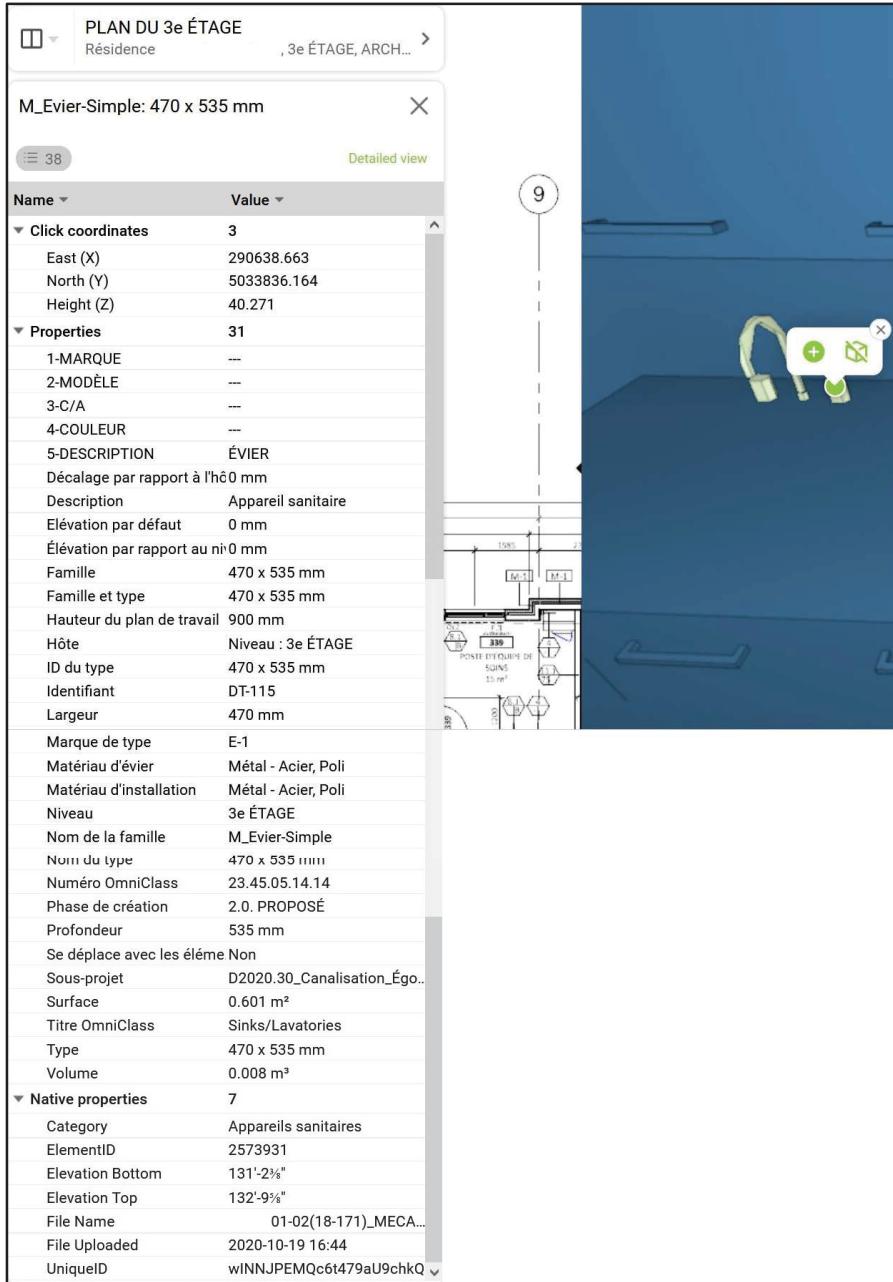


Figure 4.22 Informations paramétriques de l'évier liées à la volumétrie de la robinetterie

Certains éléments, tel que les chauffe-eaux, possèdent une très grande quantité d'informations paramétriques. Certaines informations sont cependant à risque de ne pas être accessibles à long terme. En effet, pour la pérennité de l'information, il n'est pas recommandé de référer des sites internet dans les paramètres du modèle numérique, tel que

dans le cas discuté ici (figure 4.23). Les parties prenantes n'ont aucun contrôle sur le contenu de ces sites et leurs contenus peuvent changer.



Figure 4.23 Informations paramétriques liées à la volumétrie des chauffe-eaux

Il est important de souligner que l'analyse du modèle numérique n'est pas concluante étant donné que le projet n'était pas encore livré au moment de procéder à l'étude du modèle et que la présence d'informations ne témoigne pas de l'efficience du processus de production et de gestion de cette information.

4.3. Analyse des minutes de réunion

Malgré l'influence du BIM sur le processus de travail de toutes les parties prenantes lors des phases de planification, de conception et de construction du projet, il semble que les enjeux qui s'y rapportent ont rapidement été traités comme des problèmes isolés, devant être abordés lors de réunions à caractère technique, spécifiquement adressées aux utilisateurs des outils de modélisation. Reléguer la gestion de l'information à un comité technique, isolé des décideurs stratégiques du projet, va à l'encontre de la nature intégrée du BIM et ignore l'ampleur de sa portée sur le processus global du projet.

Lors de ces rencontres spécifiquement dédiées au BIM, les sujets abordés concernaient principalement l'attribution des responsabilités de production de l'information, la remise en question des exigences d'informations et la réclamation de compensations financières supplémentaires reliées à la production de livrables d'informations. De ces trois enjeux, deux sont reliés aux indicateurs de la norme, discutés au point 4.1. Les exigences d'informations, discutés au point 4.1.1, et la matrice des responsabilités, discutée au point 4.1.3, sont des artefacts tangibles issus de l'application de la norme qui adressent respectivement les remises en question des exigences et l'attribution des responsabilités. Il est raisonnable de supposer que le manquement à la norme au niveau de la formulation des exigences d'informations et de la distribution des responsabilités ait affecté la compréhension que les parties prenantes se font des livrables et de leur production. Pour ce qui est des réclamations de rémunérations supplémentaires en lien avec la production de livrables numériques, il s'agit probablement d'une conséquence du déséquilibre de la maturité BIM au sein de l'équipe projet. En effet, la norme suggère que les tâches en lien avec les livrables numériques soient attribués aux partis les mieux qualifiés pour les exécuter. Plusieurs de ces tâches se retrouvent donc à être la

responsabilité des quelques partis les plus expérimentés du projet. Ce débancement peut créer de la frustration au sein de l'équipe projet.

Certains commentaires formulés par les parties prenantes lors des réunions de projet laissent deviner que le potentiel du BIM n'est pas entièrement compris et exploité pour ce projet. Tel est le cas pour l'entrepreneur qui a mentionné que l'animation de progression du chantier est un ajout divertissant pour une présentation destinée à un client, mais n'a pas réellement d'utilité pour un entrepreneur. Le fait de comparer une simulation d'échéancier à une simple animation démontre que l'outil n'est pas utilisé pour aider la prise de décisions et donner une plus-value au projet.

4.4. Analyse des réponses au questionnaire

Un questionnaire, visant à comprendre les défis auxquels font face les parties prenantes du projet, a été distribué à tous ceux impliqués dans le processus de production ou de gestion de l'information. Les types de réponses sont un mélange de choix multiples et de réponses longues. Six personnes ont répondu au questionnaire. Trois d'entre elles sont des architectes, deux sont des entrepreneurs et il y a un sous-traitant pour les systèmes de ventilation. Certaines des réponses recueillies confirment les hypothèses formulées à la suite des observations effectuées lors des réunions de coordination et basées sur les artefacts documentaires du projet.

Étant donné que l'objectif principal de la locomotive numérique est d'accroître la maturité numérique des parties prenantes, il a été demandé aux répondants si le projet leur avait permis d'en apprendre davantage sur le BIM. Seuls deux personnes sur six affirment avoir acquis de nouvelles connaissances. Les acquis identifiés sont principalement d'ordre technique. Il s'agit de l'utilisation de logiciels (BIM Track), la consolidation de modèles provenant de différentes disciplines et la production de documents en lien avec la gestion de l'information. Bien qu'un répondant ait mentionné avoir acquis une meilleure compréhension des rôles et responsabilités des intervenants en contexte BIM, deux répondants identifient le

manque de clarté au niveau de l'attribution des rôles et responsabilités comme étant l'obstacle principal à une implémentation efficiente du processus de travail.

Tel que mentionné au point 4.1, la confusion entourant les responsabilités des parties prenantes est peut-être dû au fait que la norme recommande de confier les tâches de gestion de l'information aux parties les plus qualifiées à le faire. Les responsabilités sont donc redistribuées en cours de projet, à mesure que les parties prenantes découvrent leurs limites au niveau de leurs capacités à livrer. Quatre répondants au sondage ont d'ailleurs affirmé avoir dû exécuter des tâches qu'ils ne planifiaient pas réaliser au départ (voir illustration 4.24).

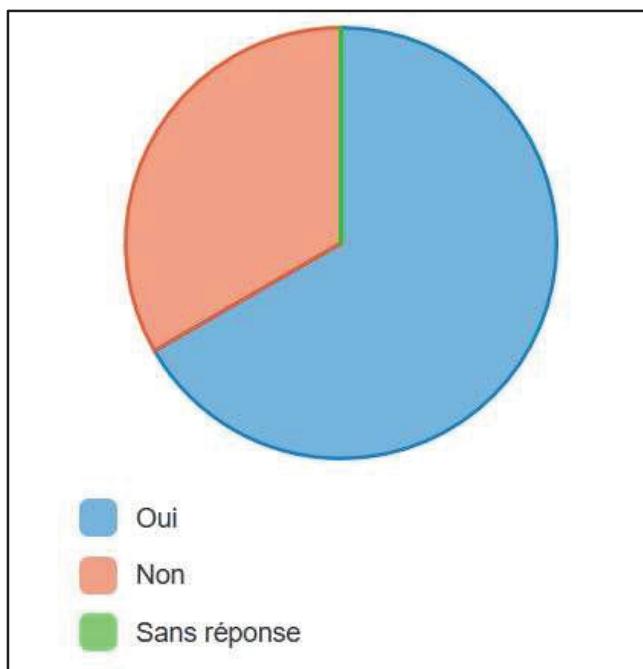


Figure 4.24 Est-ce que vous avez eu à réaliser du travail en lien avec le BIM que vous n'aviez pas initialement prévu réaliser?

Les répondants au sondage ont cependant identifié deux autres facteurs comme étant des obstacles à l'implantation du BIM plus importants encore que le manque de clarté des rôles et responsabilités. Il s'agit du manque de savoir-faire technique et du manque de coordination entre disciplines. La majorité des répondants affirment d'ailleurs qu'il leur manque des

connaissances ou des ressources afin de mieux réaliser le projet (figure 4.25). Lorsque demandés de préciser leurs réponses, les répondants proposent que les connaissances générales en BIM doivent être bonifiées, non seulement pour les membres de l'équipe technique, mais également pour ceux en charge de la gestion du projet et de la direction de l'équipe. Il est également mentionné par l'un des répondants que l'entrepreneur devrait acquérir plus d'expérience au niveau de la gestion du modèle de chantier. Au niveau des ressources, la difficulté à recruter du personnel avec une connaissance suffisante des logiciels est déplorée.

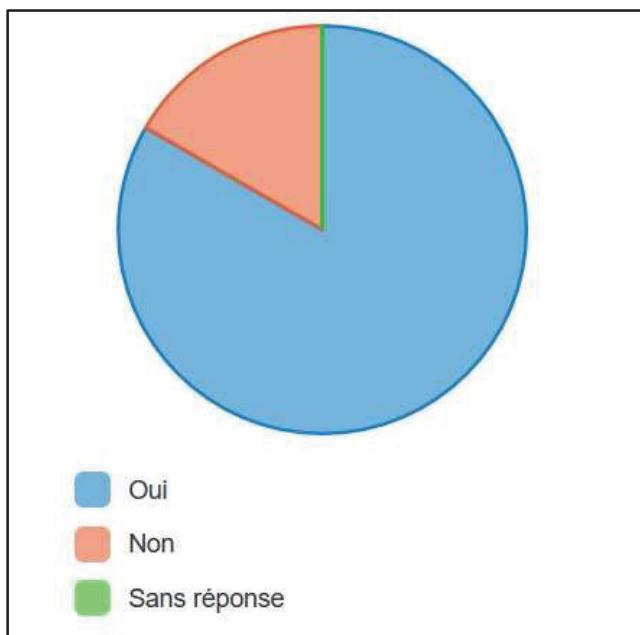


Figure 4.25 Est-ce que vous jugez qu'il manque des connaissances ou des ressources, à vous ou à votre équipe, afin de mieux réaliser votre travail dans un contexte de projet BIM?

CHAPITRE 5

DISCUSSION

La triangulation des données recueillies et analysées au chapitre 4 permet de valider les observations et donner de la valeur aux informations qui en sont déduites. L'objectif de la recherche étant d'identifier ce que la norme ISO 19650 apporte au processus de travail des membres de l'industrie de la construction au Québec, l'information obtenue dans le cadre de cette étude de cas doit être analysée en tenant compte des us et coutumes locaux. Plusieurs habitudes et concepts établis sont perturbés par la norme, ce qui provoque un changement de paradigme à différents niveaux.

5.1. Effets de la norme sur le processus de travail

5.1.1. Changement du paradigme relationnel

Les relations entre parties prenantes sont bouleversées par l'implantation du BIM et plus particulièrement par les recommandations de la norme ISO 19650. La culture collaborative, promue par la norme, contraste avec la culture qui prévaut habituellement dans les équipes projet qui évoluent dans un mode de réalisation traditionnel (design-bid-build). Le mode de réalisation traditionnel, populaire au Québec, semble avoir ancré chez les entreprises du domaine de la construction une vision compétitive où le succès se mesure par la maximisation des profits d'entreprise plutôt que par la création de valeur associée au projet. C'est donc dire que le processus de production d'informations doit répondre aux besoins de la partie désignante et non plus seulement aux objectifs contractuels de la partie désignée. Malgré l'utilisation d'un mode de réalisation collaboratif (conception-construction), les habitudes de l'industrie semblent rendre l'alignement des objectifs individuels des parties prenantes avec les objectifs du projet bien difficile. C'est pourquoi implémenter le CDE en amont du projet, devancer l'implication de l'ensemble des parties prenantes et définir les responsabilités en fonction de la maturité de l'équipe constitue un défi pour tous ceux impliqués.

5.1.2. Changement du paradigme de l'identité professionnelle

L'assignation des responsabilités de gestion de l'information en fonction des compétences (tel que recommandé par la norme) vient d'ailleurs bousculer l'octroi traditionnel des rôles selon la fonction (discipline ou métier) des parties prenantes. La gestion de l'information devient une facette si importante du processus de travail qu'il est envisageable de considérer l'inclusion de gestionnaires d'informations au sein des équipes des différentes disciplines.

Plusieurs échecs d'application de la norme ISO 19650 pourraient probablement s'expliquer par un manque d'implication des parties désignantes et du manque de compréhension qu'ils ont face à l'importance stratégique de la gestion de l'information au cours du cycle de vie des actifs. Les parties désignantes doivent donc également se doter de consultants en gestion de l'information et reconstruire leur propre rôle dans le projet. Traditionnellement perçu comme une partie prenante relativement passive, la partie désignante se doit de prendre un rôle actif au sein de l'équipe et s'impliquer à chaque phase du projet afin d'implanter le BIM dans leur stratégie de gestion.

5.1.3. Changement du paradigme du livrable.

Le livrable numérique est en partie ce qui soutient la stratégie de gestion du propriétaire et doit, bien qu'intangible, être considéré avec autant d'attention que le livrable physique. Le cheminement du livrable numérique vers son état final de AIM, tel que décrit au point 12.1 de la norme ISO 19650-2, se fait grâce à un suivi continu des exigences d'informations et un contrôle assidu des livrables par le propriétaire. Supporté par un principe collaboratif, le processus de production du livrable se fait selon un concept itératif, évoluant de façon continue en fonction de l'apport des parties prenantes. Ceci contraste avec le concept d'évolution linéaire, basé sur des interventions fragmentées et des mises à jour ponctuelles.

Alors que les livrables physiques représentent une finalité qui doit être entretenue au fil des ans, les livrables numériques représentent les fondations d'actifs en évolution, qui se bonifient d'informations au fil de l'utilisation du livrable physique. Les livrables numériques permettent aux propriétaires de maintenir l'actif physique et de créer de la valeur via une gestion des opérations améliorée.

5.2. Limites de la recherche

Une étude de cas comporte, par définition, des limites qui rendent difficile la généralisation des résultats obtenus. Plusieurs des paramètres concernés par l'étude, tel que la maturité numérique de l'équipe projet et le processus de collaboration entre parties prenantes, varient grandement d'un projet à l'autre. De plus, la variété typologique des projets et la composition éphémère des équipes en construction compliquent grandement la validation par réPLICATION. Il est cependant possible de valider les conclusions de l'étude du cas étudié en faisant des parallèles entre les dynamiques observées au cours du projet et les tendances dans l'industrie de la construction au Québec, telles que relevées dans la revue de littérature.

La pandémie de COVID-19 a certainement été un facteur qui a influencé le déroulement du projet ainsi que l'étude du cas. L'implantation du télétravail a affecté les habitudes de l'équipe projet et le fait que certaines parties prenantes aient été aux prises avec le virus a eu de l'influence sur leurs disponibilités.

Plusieurs membres de l'équipe projet ont quitté au cours de la phase de réalisation. La raison des départs et le roulement de personnel qui affecte habituellement ce type de projets ne sont pas connus, mais il est supposé que ces changements aient affecté le déroulement du processus.

Finalement, il est important de déclarer l'implication du chercheur et de parties tierces (group BIM du Québec) auprès de certains enjeux qui avaient besoin d'un support extérieur, sans quoi le déroulement du projet risquait d'être grandement compromis. Tel est le cas pour la

formulation des exigences d'informations, l'implantation de certains outils de gestion de l'information (BIM Track et Dalux), ainsi que la sélection de la plateforme de gestion des actifs du propriétaire d'actifs. Ces interactions étaient cependant envisagées dès le début du projet étant donné que le paradigme constructiviste adopté utilise le principe de l'action intelligente, qui se base sur les connaissances du chercheur et les exemples de meilleures pratiques (Le Moigne, 2009). Les observations effectuées lors de l'étude de cas font preuve de réflexivité à ce sujet et prennent compte du rôle que le chercheur ait pu avoir sur le processus.

CONCLUSION

En plus de démontrer comment les balises proposées par la norme ISO 19650 peuvent contribuer à cadrer le processus de gestion des informations destinées au donneur d'ouvrage, cette recherche met en lumière les bouleversements que causent les changements au processus de travail des parties prenantes. Le contexte traditionnel et fragmenté de l'industrie locale, où ces changements tentent d'être implantés, rend ces bouleversements d'autant plus marquants.

Les facteurs externes, qu'ils soient socio-économiques ou politiques, identifiés comme exerçant potentiellement une influence sur l'implantation de la norme, ont été mis en contexte et décortiqués dans la revue de littérature. Les enjeux occasionnés par les transformations qui affectent le processus de travail ont été confirmés via un questionnaire. Finalement, les corrélations entre les facteurs d'influence et les enjeux d'implantation aident à comprendre les difficultés qu'ont les parties prenantes à appliquer les recommandations de la norme, tel que constaté via l'étude des documents identifiés comme étant des indicateurs d'implantation de la norme.

Il est attendu que cette recherche contribue à mettre en lumière l'importance d'adapter les processus prescrits par les normes internationales aux réalités de l'industrie locale. La norme ISO 19650, qui est un outil qui contribue aux efforts d'implantation du BIM dans l'industrie, doit elle-même être sujette à des efforts d'implantation de façon que les parties prenantes soient préparées à faire face aux changements.

RECOMMANDATIONS

Étant donné la grande quantité d'intervenants au sein d'un projet de construction, les effets de l'application de la norme ISO 19650 devraient être optimisés dès qu'une masse critique de l'industrie aura assimilé son contenu et réussira à l'adapter au contexte de travail québécois. Une annexe canadienne verra probablement le jour prochainement et contribuera à faciliter l'implantation de la norme au pays.

Il serait pertinent d'explorer l'utilisation de nouvelles exigences contractuelles qui pourraient faciliter l'implantation de la norme ISO 19650 et d'en étudier les effets sur le projet. La formulation actuelle demande que les travaux soient faits conformément à la norme, ce qui laisse beaucoup de place à l'interprétation. Exiger, par exemple, que les parties prenantes produisent les indicateurs clés discutés à la section 4.1 faciliterait le contrôle de l'application de la norme et rendrait le processus d'implantation plus tangible aux yeux des équipes néophytes dans le domaine de la gestion d'informations.

Les recherches à venir devront également se pencher sur la section de la norme subséquente aux deux abordées au cours de cette recherche (section 3, phase d'exploitation des actifs) et explorer les recommandations de la norme concernant le processus d'entretien et de mise à jour des modèles d'informations à la suite de la remise de ceux-ci aux propriétaires d'actifs.

Les observations effectuées lors d'études de cas comme celle-ci contribuent à améliorer la compréhension que l'on se fait des enjeux qui affectent l'innovation dans l'industrie. Il est important de poursuivre l'étude de cas similaires et de continuer à étudier les équipes qui tentent d'appliquer la norme ISO 19650 au processus de travail de projets innovants.

ANNEXE I

QUESTIONNAIRE

Implantation de la norme ISO19650

Espace La Traversée (ELT), un organisme à but non lucratif dédié aux services d'hébergement adaptés aux populations en perte d'autonomie, et Bâtir son Quartier (BSQ), une entreprise d'économie sociale spécialisée dans la réalisation de logements communautaires, se sont joints au Groupe BIM du Québec (GBQ), un organisme à but non lucratif qui fait la promotion de la transition numérique en construction au Québec, afin de mettre sur pied un projet résidentiel intégrant la gestion de l'information de la construction (BIM) au processus de conception, de construction et d'opération du bâtiment.

Les nouvelles résidences des Soeurs Sainte-Anne, qui est le sujet de ce sondage, est un projet pilote qui permet d'observer comment le processus de réalisation et de livraison d'un projet résidentiel en contexte Québécois est influencé par l'implantation du BIM dans toutes les phases du cycle de vie d'un bâtiment.

Le Groupe de Recherche en Intégration et en Développement Durable dans l'environnement bâti (GRIDD) de l'École de Technologie Supérieure (ETS), en collaboration avec le GBQ, saisi l'opportunité d'utiliser ce projet pilote pour mener une étude portant sur l'application de la norme ISO-19650 au processus de gestion de l'information. Le but de ce sondage est de dresser un portrait général des parties prenantes au projet et d'identifier les enjeux reliés à l'implantation du BIM.

Vous êtes invité(e) à participer à cette recherche en remplissant un questionnaire composé de 10 à 13 questions (dépendant de vos réponses) portant sur votre expérience avec le projet mentionné ci-haut. La durée nécessaire pour compléter le questionnaire est estimée à entre 10 et 15 minutes. Il est possible d'effectuer la sauvegarde de vos réponses et d'y revenir ultérieurement si jamais vous devez interrompre le remplissage du questionnaire.

Il y a 14 questions dans ce questionnaire.

Profil et expérience du répondant

Groupe de questions qui seront utilisées pour établir le profil des différentes parties prenantes

Quel est votre rôle au sein de ce projet? *

● Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Architecte
- Technicien(ne) / Technologue
- Client(e) / Donneur(euse) d'ouvrage
- Gestionnaire d'actifs
- Paysagiste
- Gestionnaire BIM
- Sous-traitant(e) électrique
- Sous-traitant(e) plomberie
- Sous-traitant(e) ventilation
- Sous-traitant(e) systèmes intérieur
- Sous-traitant(e) maçonnerie
- Entrepreneur(e)
- Ingénieur(e) électrique
- Ingénieur(e) mécanique
- Ingénieur(e) structure
- Ingénieur(e) civil

*

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	0-1	2-4	5-7	8-10	11-13	14-16	17-19	20 et plus
Combien d'années d'expérience avez-vous dans votre domaine?	<input type="radio"/>							
Combien d'années d'expérience avez-vous sur des projets résidentiels	<input type="radio"/>							
Combien d'années d'expérience avez-vous sur des projets utilisant le BIM?	<input type="radio"/>							

Depuis combien de temps travaillez-vous sur le projet d'habitation des Soeurs Sainte-Anne (en semaines)? *

❶ Seuls des nombres peuvent être entrés dans ce champ.
Veuillez écrire votre réponse ici :

Est-ce la première fois que vous participez à un projet BIM? *

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
- Non

Sur une échelle de 1 à 5, veuillez indiquer votre niveau de compréhension... *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	1	2	3	4	5
... de la modélisation de l'information de la construction (BIM)	<input type="radio"/>				
... des outils technologiques (logiciels et plateformes numériques) utilisés pour gérer l'Information	<input type="radio"/>				
... de l'utilité des données que vous intégrez au modèle BIM	<input type="radio"/>				

- 1- Représente une compréhension nulle (incapable d'expliquer les concepts à un néophyte).
- 2- Représente une faible compréhension (les concepts de base commencent à être compris mais il est encore difficile de les expliquer dans ses propres mots)
- 3- Représente une compréhension modérée (les concepts généraux sont compris mais leur application fonctionnelle n'est pas encore maîtrisée).
- 4- Représente une bonne compréhension (tient un rôle de référence parmi les collègues et est capable de partager ses connaissances).
- 5- Représente une compréhension experte (capable d'argumenter les nuances subtiles des concepts et d'introduire des réflexions innovantes en la matière).

Avez-vous appris ou approfondi des notions théoriques ou pratiques reliées au BIM depuis que vous travaillez sur le projet? *

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
 Non

Lesquelles? *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse était 'Oui' à la question '6 [Acquis]' (Avez-vous appris ou approfondi des notions théoriques ou pratiques reliées au BIM depuis que vous travaillez sur le projet?)

Veuillez écrire votre réponse ici :

Obstacles

Obstacles à l'implantation du BIM dans l'industrie de la construction au Québec

Est-ce que vous jugez qu'il manque des connaissances ou des ressources, à vous ou à votre équipe, afin de mieux réaliser votre travail dans un contexte de projet BIM? *

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
- Non

Lesquelles? *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse était 'Oui' à la question '8 [ressources]' (Est-ce que vous jugez qu'il manque des connaissances ou des ressources, à vous ou à votre équipe, afin de mieux réaliser votre travail dans un contexte de projet BIM?)

Veuillez écrire votre réponse ici :

Le tableau ci-dessous comprend les facteurs fréquemment recensés dans les écrits comme étant des obstacles qui contreviennent à l'implantation du BIM dans les projets de construction. Identifier ceux qui s'appliquent au projet, si vous en avez constaté, en les glissant dans le tableau de droite. *

❶ Vos réponses doivent être différentes, et vous devez les classer dans l'ordre.

❷ Veuillez sélectionner 9 réponses maximum

Numérotez chaque case dans l'ordre de vos préférences de 1 à 9

Rôles et responsabilités reliés aux livrables numériques mal identifiés

Coûts des formations

Manque de savoir-faire technique

Résistance au changement

Manque de flexibilité face aux risques encourus

Manque de coordination entre disciplines

Coûts d'implantation des techniques \ logiciels

Protection des droits d'auteurs et des propriétés intellectuelles insatisfaisantes

Contrats non adaptés aux nouvelles réalités imposées par l'implantation du BIM

Classer les facteurs par ordre d'importance en placant les obstacles les plus perturbateurs dans le haut du tableau.

Est-ce que vous avez fait face à des obstacles non mentionnés ci-haut?

*

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

Oui

Non

Si oui, lesquels? *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse était 'Oui' à la question '11 [facteurs2]' (Est-ce que vous avez fait face à des obstacles non mentionnés ci-haut?)

Veuillez écrire votre réponse ici :

Est-ce que vous avez eu à réaliser du travail en lien avec le BIM que vous n'aviez pas initialement prévu réaliser? *

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
 Non

Lequel? *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :

La réponse était 'Oui' à la question '13 [entrevue5Q4]' (Est-ce que vous avez eu à réaliser du travail en lien avec le BIM que vous n'aviez pas initialement prévu réaliser?)

Veuillez écrire votre réponse ici :

Merci pour votre participation!

01.05.2021 – 15:05

Envoyer votre questionnaire.

Merci d'avoir complété ce questionnaire.

ANNEXE II

TABLEAUX DES CAS D'USAGES

Tableau-A II-1 Cas pour le traitement de bons de travail

TRAITEMENT DE BONS DE TRAVAIL			
PROCESSUS	INFORMATIONS NÉCESSAIRES	ACTIVITÉS POUVANT BÉNÉFICIER D'UNE GESTION D'INFORMATION OPTIMISÉE	Outils ou plateformes permettant l'application d'une gestion de l'information optimisée
01- Rédaction du bon de travail	Description de la nature du problème	Identification immédiate d'un problème et archivage automatisé (utilisation d'appareils mobiles)	CMMS
	Régistres de maintenance et historique des actifs	Anticipation de problèmes à venir ou intervention préventive	CMMS
02- Délégation du travail à une partie assignée	Diagramme à jour de l'entreprise	Identification des départements et de la main d'œuvre au sein de l'entreprise pouvant entreprendre les travaux	EAM
	Gabarit d'appel d'offres et de contrats	Faire appel à des ressources extérieures pour la réalisation des travaux	EAM
03- Envoi du bon de travail	Composition des équipes sur le terrain	Envoi du bon aux personnes concernées	CMMS
04- Recherche d'informations	Modèle "tel que maintenu" du bâtiment	Identification des zones et des éléments affectés	CMMS
	Régistres de maintenance des éléments du système affecté	Requête des informations par mots clés	CMMS
	Garanties des éléments affectés	Récupération de des informations par identifiant unique	CMMS
	Coordonnées des fournisseurs des éléments affectés	Répertoire des contacts accédé en lien avec objets du modèle	CMMS
	Spécifications des éléments affectés	Récupération de paramètres techniques pour chaque élément	CMMS
	Informations <i>in situ</i> (relevé sur place)	Confirmation de la véracité des informations (consultation sur appareils mobiles)	CMMS
05- Formuler un diagnostic	Paramètres associés aux matériaux	Simulations contextuelles	Logiciels de simulations thermiques
	Hypothèses	Analyses et corrélations de données	Tableau de bord
06- Planification des travaux	Informations à jour sur les opérations et activités ayant courantes	Identifier opérations et activités potentiellement affectées travaux	IWMS
	Ressources disponibles	Consulter inventaire des pièces et équipements	CMMS
	Superficies et types de matériaux	Définir matériel et outils nécessaires pour les travaux	CMMS
	Coûts des matériaux	Estimation du coût des travaux	CMMS
07- Exécution des travaux	Modèle d'information des travaux	Révision et annotation des propositions et de l'avancement des travaux	Visionneuse de modèles d'informations
	Échéancier	Suivi de l'avancement des travaux	Logiciels de simulation 4D
	Coûts des ressources	Contrôle budgétaire	CMMS
08- Réception et acceptation des travaux	Modèle d'information "tel que construit"	Contrôle qualité	Visionneuse de modèles d'informations
	Exigences tels que formulées dans AIR	Intégration aux systèmes	Processus de livrable, IDM, IER

Tableau-A II-2 Cas pour la gestion des espaces

GESTION DES ESPACES			
PROCESSUS	INFORMATIONS NÉCESSAIRES	ACTIVITÉS POUVANT BÉNÉFICIER D'UNE GESTION D'INFORMATION OPTIMISÉE	Outils permettant l'application d'une gestion de l'information optimisée
01- Identification des locaux	Modèle d'information du bâtiment	Localiser chaque pièce et identifier ses paramètres géométriques	IWMS
	Fonction des locaux	Identifier l'usage et le contenu de chaque pièce	IWMS
02- Identification des activités	Horraire des activités	Optimisation de l'occupation des locaux	IWMS
03- Identification des contraintes d'opération	Capacité maximale des locaux	Gestion de la sécurité des occupants (contraintes sanitaires)	IWMS, simulations de déplacement de foules
	Horraire des activités	Compatibilité des activités à l'échelle du bâtiment (contraintes de bruit, contraintes de circulation des occupants, contraintes sanitaires, ...)	IWMS, simulations accoustiques, simulations de déplacement de foules
	Liste des équipements et du mobilier	Planification d'événements	IWMS
04- Gestion de location des espaces	Revenus de location au pied carré	Calcul des revenus	IWMS
	Coordonnées des locataires	Gestion des baux	IWMS
	Typologies et superficies des locaux	Optimisation des revenus	IWMS
05- Gestion de la sécurité	Paramètres des alarmes de protection incendie	Optimisation des réponses aux incendies	CMMS
	Paramètres des alarmes intrusion	Optimisation des réponses aux intrusions	CMMS
	Régitre de maintenance des systèmes de protection incendie	Entretien du système de protection incendie	CMMS
06- Monitoring en temps réel	Suivi de la température en temps réel	Amélioration du confort des occupants	IWMS, Capteurs thermiques
	Suivi de l'occupation en temps réel	Optimisation de l'efficience énergétique	IWMS, Capteurs de présence
	Suivi de l'accès en temps réel	Contrôle de la sécurité des locaux	IWMS, Puces ou cartes d'accès, NFC

Tableau-A II-3 Cas pour la maintenance

PLANNIFICATION DE MAINTENANCE / MAINTENANCE PRÉVENTIVE / MAINTENANCE PRESCRIPTIVE			
PROCESSUS	INFORMATIONS NÉCESSAIRES	ACTIVITÉS POUVANT BÉNÉFICIER D'UNE GESTION D'INFORMATION OPTIMISÉE	Outils permettant l'application d'une gestion de l'information optimisée
01- Prioriser les actifs critiques	Historique d'entretien des équipements: Temps moyen entre défaillances (MTBF), Temps requis pour réparer	Evaluation des indicateurs clé de performance (KPI) et du niveau critique de l'équipement	CMMS
02- Élaborer une stratégie budgétaire	Budget de l'entreprise alloué à l'entretien Historique du temps et du coût de la main d'œuvre pour entretien des actifs	Élaboration d'une stratégie d'entretien Coût de défaillance des équipements	EAM CMMS
03- Élaborer un échéancier de maintien	Fiches techniques des équipements Fréquence et intensité d'utilisation des équipements	Récupération de paramètres techniques pour chaque élément Prévision de l'usure des équipements	CMMS CMMS
04- Coordonner la logistique de maintien	Disponibilité de la main d'œuvre en temps réel Inventaire des pièces Carnet des fournisseurs	Planification "agile" (à court terme et flexible) Approvisionnement "just in time" (optimisation des espaces d'entreposage) Contact rapide avec les personnes ressources adéquates	CMMS, Communication mobile CMMS CMMS
05- Effectuer les interventions préventives nécessaires	Rapports d'inspections des équipements État actuel des équipements	Analyse des rapports et identification de tendances Ajustement des prévisions d'usure des équipements	CMMS, Tableaux de bord CMMS, Objets connectés
06- Analyser les données affectant le fonctionnement des équipements	Informations d'utilisation des équipements Fiches techniques des équipements	Analyses de données et établissement de corrélations Identifier paramètres problématiques	CMMS, Simulations CMMS
07- Effectuer les interventions prescriptives nécessaires	Analyses et corrélations de données en lien avec utilisation de l'équipement	Mitiger les effets non désirables d'usures non prévues	CMMS

ANNEXE III

SECTION 01 99 10 DU DEVIS

NOUVELLE RÉSIDENCE

Section 01 99 10

EXIGENCES D'INFORMATIONS RELATIFS AUX ACTIFS

5 juin 2020

Pour construction 100%

PARTIE 1 - GÉNÉRALITÉS

1.1 Normes de référence

- .1 Le projet fait appel aux normes suivantes pour référence :
1. ISO 12006-2:2015 - Construction immobilière — Organisation de l'information des travaux de construction — Partie 2: Plan type pour la classification
 2. ISO 29481-1:2016 - Modèles des informations de la construction — Contrat d'interchange — Partie 1: Méthodologie et format.
 3. ISO 29481-2:2016 - Modèles des informations de la construction — Contrat d'interchange —Partie 2 : Cadre d'intéraction.
 4. ISO 12911:2012 - Cadre d'orientation pour la modélisation de l'information sur les bâtiments (BIM)
 5. ISO 16739:2013 – Industry Foundation Classes (IFC) pour le partage de données dans les secteurs de la construction et de la gestion d'installations.
 6. ISO 19650-1:2017 - Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris modélisation des informations de la construction (BIM) — Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction — Partie 1: Concepts et principes
 7. ISO 19650-2:2017 - Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris modélisation des informations de la construction (BIM) — Gestion de l'information par modélisation des informations de la construction — Partie 2: Phase de réalisation des actifs
 8. ISO/TS 22263:2008 - Organisation de l'information des travaux de construction — Cadre général pour la gestion de l'information des projets
 9. DIN SPEC 91391-1:2019-04 : Environnements de données communs (CDE) pour les projets BIM - Fonctions et échange ouvert de données entre des plateformes des fabricants différents - Partie 1: Composants et jeux de fonctions d'un CDE; avec adaptateur numérique
 10. DIN SPEC 91391-2:2019-04 : Environnements de données communs (CDE) pour les projets BIM - Fonctions et échange ouvert de données entre des plateformes des fabricants différents - Partie 2: Échange ouvert de données avec des environnements de données communs
 11. ASTM E1557 - 09(2015) Classification type pour les éléments de construction et les travaux sur site connexes —UNIFORMAT II
 12. Omniclass Table 23 – Produits

1.2 Actifs

- .1 Systèmes :

1. Équipements de climatisation et de chauffage, ventilation et climatisation
2. Détection passive d'incendie
3. Éclairage d'urgence
4. Tableaux de distribution et tableaux de distribution mécaniques / HVAC.
5. Systèmes de gestion des bâtiments et contrôles CVC
6. Systèmes de contrôle d'éclairage

NOUVELLE RÉSIDENCE**Section 01 99 10****EXIGENCES D'INFORMATIONS RELATIFS AUX ACTIFS**

5 juin 2020

Pour construction 100%

.2 Éléments

1. Extincteurs d'incendie
2. DéTECTEURS de fumée et de chaleur
3. Retenues de portes magnétiques
4. Système d'éclairage de secours
5. Systèmes d'alimentation de secours
6. Systèmes d'alarme de sécurité
7. Portes coupe-feu et coupe-fumée
8. Volets coupe-feu
9. Systèmes d'accès au toit
10. Panneaux de sortie éclairés
11. Tableaux de distribution
12. Systèmes d'alimentation de secours
13. pompes de circulation d'eau chaude
14. Régulateurs d'ascenseurs et jeux de portes
15. Portes de sortie de secours
16. Portes à ouverture automatique
17. Têtes de gicleurs
18. Panneaux indicateurs d'incendie
19. Systèmes de désenfumage
20. Systèmes de pressurisation des escaliers d'incendie
21. Chaudières et brûleurs
22. Unités à volume d'air variable
23. Variateurs de vitesse
24. Interrupteurs d'éclairage et prises de courant
25. Appareils sanitaires
26. Signalisation statutaire
27. Fini à plancher
28. Finitions murales carrelées
29. Quincaillerie de porte
30. Tours de refroidissement
31. Unités de condensation
32. Système de commande HVAC
33. Systèmes de ventilation pour parkings
34. Ventilateurs de ventilation du bâtiment
35. pompes à eau chaude
36. Lampes fluorescentes
37. Robinetterie

NOUVELLE RÉSIDENCE**Section 01 99 10****EXIGENCES D'INFORMATIONS RELATIFS AUX ACTIFS**

5 juin 2020

Pour construction 100%

- 38. Unités d'eau bouillante
- 39. Ascenseur intérieur de cabine et boutons
- 40. Moteurs de levage, engrenages, etc.
- 41. Finitions murales peintes
- 42. Finitions de plafond
- 43. Toitures, gouttières et puits de lumière
- 44. Fenêtres et portes
- 45. Surfaces extérieures peintes
- 46. Poubelles et accessoires fixes
- 47. Parking & marquage au sol
- 48. Refroidisseurs
- 49. pompes à eau réfrigérée
- 50. Centrales de traitement d'air
- 51. Appareils de chauffage et conduits de gaines
- 52. Systèmes de gestion technique des bâtiments (BMS)
- 53. Réservoirs d'eau chaude et soupapes de sécurité de pression
- 54. Soupapes de mélange thermostatiques
- 55. Clapets anti-retour
- 56. Appareils électroménagers de cuisine
- 57. Sèche-mains
- 58. Distributeurs de savon de salle de bains, etc.
- 59. Volets roulants et portes de garage

1.3 Paramètres requis

- .1 Numéro/code de suivi ou d'identification
- .2 ID de l'actif
- .3 Nom de l'actif
- .4 Type de produit (selon classification)
- .5 Nom du campus ou de l'établissement
- .6 Identification du bâtiment
- .7 Nom du bâtiment
- .8 Identification de l'étage
- .9 ID de l'espace
- .10 Nom de l'espace
- .11 Référence d'emplacement ou de SIG
- .12 Marque ou fabricant
- .13 Numéro de référence du produit (Numéro de série/de modèle)
- .14 Nom du produit

NOUVELLE RÉSIDENCE**Section 01 99 10****EXIGENCES D'INFORMATIONS RELATIFS AUX ACTIFS**

5 juin 2020

Pour construction 100%

- .15 Nom du fournisseur
- .16 Code de catégorie d'actif (selon classification)
- .17 Type de système/ discipline
- .18 ID système
- .19 Nom du système
- .20 Numéro de série
- .21 Date de fabrication
- .22 Date de fin de garantie
- .23 Source des consommables et des pièces de rechange
- .24 Prochaine date d'inspection de certification
- .25 Date d'achat
- .26 Coût d'achat
- .27 Durée de vie prévue,
- .28 Date de fin de la durée de vie
- .29 Coût de remplacement prévu
- .30 Spécifications et guides d'entretien
- .31 Date de début de la garantie
- .32 Garantie prolongée (Oui/Non)
- .33 Fréquence d'entretien
- .34 Identification des consommables
- .35 Identification des pièces de rechange
- .36 Durée de la garantie - pièces détachées
- .37 Cycle de remplacement
- .38 Durée de vie prévue
- .39 Pièces :
 - 1. Fini : Plancher
 - 2. Fini : Murs
 - 3. Fini : Plafond
 - 4. Fini : Portes

FIN DE LA SECTION

ANNEXE IV

TABLEAU COMPARATIF ENTRE LES RECOMMANDATIONS ISO 19650 ET LA PLATEFORME DE GESTION D'INFORMATIONS DU PROJET

Tableau-A IV-1 Comparaison des recommandations de la norme ISO 19650 pour le CDE avec les propriétés de la plateforme utilisée au cours du projet.

Concept	ISO 19650		Procore (tel que configuré pour le projet étudié)	
	Caractéristiques du CDE, tel que recommandé	Référence	Caractéristiques du CDE étudié	Correspond à la norme?
Flux de l'information	Toutes les équipes de travail doivent soumettre leurs livrables à la partie assignante via le CDE.	ISO 19650-2, 5.7.3	Certaines parties désignées, tel que l'architecte paysager, n'utilisent pas le CDE et ne livrent pas leurs livrables sous format numérique.	Non
Flux de l'information	Les modèles d'informations doivent pouvoir être fédérés au sein du CDE.	ISO 19650-1, 11.1	Les modèles d'informations doivent être fédérés à l'extérieur du CDE.	Non, pas avec la configuration utilisée
Flux de l'information	L'information contenue dans le CDE transite par 4 états distincts: "en cours", "partagé", "publié" et "archivé". Le passage d'un état à l'autre se fait selon un processus établi.	ISO 19650-1, 12	La distinction entre les états "partagé", "publié" et "archivé" n'est pas clairement identifiée. L'état "en cours" est géré à l'externe, par chaune des disciplines concernées.	Pas exactement, mais la solution adoptée simule la recommandation de la norme.
Responsabilités des parties prenantes	La partie désignante doit archiver l'ensemble des livrables numériques au sein du CDE et doit, avec l'aide des parties désignées principales, compiler les leçons apprises durant la réalisation du projet.	ISO 19650-2, 5.8	Il n'est pas prévu que le CDE sera remis à la partie désignante. 7 mois avant la remise des livrables numériques, l'infrastructure informatique de la partie désignante n'est pas encore implantée et les plans pour le faire ne sont pas encore définis.	Non
Responsabilités des parties prenantes	CDE devrait être implanté dès le début du projet, avant même l'octroi des contrats.	ISO 19650-2, 5.1.7	Procore a été implanté au mois d'octobre 2019, environ 8 mois après le début de la phase préliminaire du projet.	Non
Responsabilités des parties prenantes	CDE doit idéalement appartenir et être implanté par la partie désignante (le donneur d'ouvrage). La tâche d'implantation et de gestion du CDE peut être confiée à un parti tiers, mais la configuration du CDE doit être définie par la partie désignante.	ISO 19650-2, 5.1.7	Procore appartient et a été mis en place par la partie désignée principale (entrepreneur). La partie désignante n'a pas été impliquée dans la configuration du CDE. La propriété et la gestion du CDE ne sera pas remis à la partie désignante lors de la livraison du projet.	Ne correspond pas à la norme ISO 19650. Correspond à la norme DIN SPEC 91391, spécifiée au devis.
Propriétés de l'information	Les normes ouvertes devraient être privilégiées pour tout processus entrepris et toute information partagée sur le CDE.	ISO 19650-1, 6.1	Le format ouvert est utilisé sur Procore, mais il y a également présence de formats propriétaires.	Oui
Propriétés de l'information	L'information à l'état partagé doit être consultable, visible et accessible.	ISO 19650-1, 12.4	L'information n'est pas consultable directement dans le CDE.	Non, pas avec la configuration utilisée
Propriétés de l'information	Les métadonnées liées aux contenus d'informations devraient indiquer un code de révision (suivi de version), un code de statut (utilisation autorisée) et une classification pour les informations qui s'y trouvent.	ISO 19650-1, 12.1	Un code de révision est automatiquement assigné aux contenus d'informations. Certains fichiers portent cependant un code de révision, correspondant à un standard différent, dans le titre du fichier. Le statut de l'information est identifié selon son emplacement, pas dans les métadonnées. Les classifications demandées au devis sont Omniclass, tableau 23 et Uniformat II.	Non
Automatisation de la gestion	Le CDE devrait avoir un système d'alerte de mise à jour des informations.	ISO 19650-1, 12.1	Un courriel automatisé est envoyé aux parties prenantes concernées afin de signaler des dépôts d'informations.	Oui

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahmed, S. (2018). Barriers to Implementation of Building Information Modeling (BIM) to the Construction Industry: A Review. *Journal of Civil Engineering and Construction*, 7(2), 107. <https://doi.org/10.32732/jcec.2018.7.2.107>
- Alaloul, W. S., Hasaniyah, M. W., & Tayeh, B. A. (2019). A comprehensive review of disputes prevention and resolution in construction projects. *MATEC Web of Conferences*, 270, 05012. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201927005012>
- Almeida, F., Oliveira, J., & Cruz, J. (2010). Open Standards And Open Source: Enabling Interoperability. *International Journal of Software Engineering & Applications*, 2(1), 1-11. <https://doi.org/10.5121/ijsea.2011.2101>
- Alreshidi, E., Mourshed, M., & Rezgui, Y. (2017). Factors for effective BIM governance. *Journal of Building Engineering*, 10, 89-101. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.02.006>
- Araszkiewicz, K. (2017). Digital Technologies in Facility Management – The state of Practice and Research Challenges. *Procedia Engineering*, 196, 1034-1042. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.059>
- Arcadis. (2017). *Avoiding the Same Pitfalls*. Arcadis Contract Solutions.
- Ariza-López, F. J., & Rodríguez-Avi, J. (2015). Estimating the count of completeness errors in geographic data sets by means of a generalized Waring regression model. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(8), 1394-1418. <https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1010536>
- Arshad, M. F., Thaheem, M. J., Nasir, A. R., & Malik, M. S. A. (2019). Contractual Risks of Building Information Modeling: Toward a Standardized Legal Framework for Design-Bid-Build Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(4), 04019010. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001617](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001617)
- Ashcraft, H. W. (2008). Building Information Modeling: A Framework for Collaboration. *Construction Lawyer*, volume 28(3), 14.
- Ashworth, S., Druhmann, C. K., & Streeter, T. (2019). The benefits of building information modelling (BIM) to facility management (FM) over built assets whole lifecycle (p. 14).
- Ashworth, S., Tucker, M., & Druhmann, C. K. (2017). Employer's Information Requirements (EIR): A BIM case study to meet client and facility manager needs, 11.

- Ashworth, S., Tucker, M., & Druhmann, C. K. (2019). Critical success factors for facility management employer's information requirements (EIR) for BIM. *Facilities*, 37(1/2), 103-118. <https://doi.org/10.1108/F-02-2018-0027>
- Assaf, A., & Senart, A. (2012). Data Quality Principles in the Semantic Web. Dans *2012 IEEE Sixth International Conference on Semantic Computing* (pp. 226-229). Palermo, Italy : IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSC.2012.39>
- Atazadeh, B., Kalantari, M., Rajabifard, A., Ho, S., & Champion, T. (2017). Extending a BIM-based data model to support 3D digital management of complex ownership spaces. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(3), 499-522. <https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1207775>
- Australasian BIM advisory board (Éd.). (2018). Asset information requirements guide.
- Avenier, M. (2011). Les paradigmes épistémologiques constructivistes : post-modernisme ou pragmatisme ? *Management & Avenir*, 43(3), 372. <https://doi.org/10.3917/mav.043.0372>
- Azhar, S., Khalfan, M., & Maqsood, T. (2012). Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 14.
- Barrett, P., & Sexton, M. (2006). Innovation in Small, Project-Based Construction Firms. *British Journal of Management*, 17(4), 331-346. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8551.2005.00461.x>
- Baskarada, S., & Koronios, A. (2013). Data, Information, Knowledge, Wisdom (DIKW): A Semiotic Theoretical and Empirical Exploration of the Hierarchy and its Quality Dimension. *Australasian Journal of Information Systems*, 18(1). <https://doi.org/10.3127/ajis.v18i1.748>
- Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., & Calis, G. (2012). Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(3), 431-442. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000433](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433)
- Bodea, C.-N. (2018). Legal implications of adopting Building Information Modeling (BIM). *Judicial tribune*, 8(1), 10.
- Bolshakov, N., Badenko, V., Yadykin, V., Celani, A., & Fedotov, A. (2020). Digital twins of complex technical systems for management of built environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 869, 062045. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/6/062045>

- Bosch-Sijtsema, P. M., Gluch, P., & Sezer, A. A. (2019). Professional development of the BIM actor role. *Automation in Construction*, 97, 44-51.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.024>
- Bossé, É., & Rogova, G. L. (Éds). (2019). *Information Quality in Information Fusion and Decision Making*. Cham : Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-03643-0>
- Boulenger, S., & Joanis, M. (2015). *Analyse économique des marchés publics dans l'industrie de la construction au Québec*. Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations.
- Boutle, A., Dodd, P., Hooper, E., Ford, J., Rossiter, D., Tennyson, R., Zahiroddiny, S. (2019). Information management according to BS EN ISO 19650, Guidance Part 2: Process for Project Delivery. UK BIM Framework.
- Bühlmeier, T. (2018). Open BIM - Driving force for a new culture and new possibilities in façade business. *ce/papers*, 2(5-6), 159-167. <https://doi.org/10.1002/cepa.919>
- Calvert, J. (2014). Overcoming Systemic Barriers to ‘Greening’ the Construction Industry: The Important Role of Building Workers in Implementing Climate Objectives at the Workplace. *Alternate Routes: A journal of Critical Social Research*, 25, 36.
- Cao, Y., Zhang, L. H., McCabe, B., & Shahi, A. (2019). The Benefits of and Barriers to BIM Adoption in Canada. Communication présentée au 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Banff, AB, Canada.
<https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0021>
- Cavka, H. B., Staub-French, S., & Poirier, E. A. (2017). Developing owner information requirements for BIM-enabled project delivery and asset management. *Automation in Construction*, 83, 169-183. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.006>
- Cavka, H., Staub-French, S., & Pottinger, R. (2015). Evaluating the Alignment of Organizational and Project Contexts for BIM Adoption: A Case Study of a Large Owner Organization. *Buildings*, 5(4), 1265-1300.
<https://doi.org/10.3390/buildings5041265>
- Cheng, J. C. P., Chen, W., Chen, K., & Wang, Q. (2020). Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. *Automation in Construction*, 112, 103087.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103087>
- Cheung, S.-O. (1999). Critical factors affecting the use of alternative dispute resolution processes in construction. *International Journal of Project Management*, 17(3), 189-194.

- Coenen, C., & von Felten, D. (2014). A service-oriented perspective of facility management. *Facilities*, 32(9/10), 554-564. <https://doi.org/10.1108/F-09-2012-0068>
- Collins, C. (2017). Organisation Information Requirements. The Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Commission de la construction du Québec. (2016). *Rapport annuel de gestion 2015*.
- Commission de la construction du Québec. (2018). *Rapport annuel de gestion 2018*.
- Cotts, D. G., Roper, K. O., & Payant, R. P. (2010). Facility Management Handbook (3rd Edition). Repéré à <https://app.knovel.com/mlink/toc/id:kpFMHE0002/facility-management-handbook/facility-management-handbook>
- Crawford, C. B., & Strohkirch, C. S. (1997). Influence Methods and Innovators: Technocrats and Champions. *Journal of Leadership Studies*, 4(2), 43-54. <https://doi.org/10.1177/107179199700400205>
- Department of Transport and Main Roads. (2017). *Building Information Modelling (BIM) for Transport and Main Roads*. State of Queensland.
- Dixit, M. K., Venkatraj, V., Ostadalimakhmalbaf, M., Pariafsai, F., & Lavy, S. (2019). Integration of facility management and building information modeling (BIM): A review of key issues and challenges. *Facilities*, 37(7/8), 455-483. <https://doi.org/10.1108/F-03-2018-0043>
- Dorval, Y.-T. (2016). *Étude sur l'écosystème d'affaires de la construction au Québec*.
- Dounis, A. I., & Caraiscos, C. (2009). Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1246-1261. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.015>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. (S.l.) : John Wiley & Sons.
- Edirisinghe, R. (2015). Comparative Analysis of International and National Level BIM Standardization Efforts and BIM adoption, 10.
- Edirisinghe, R., London, K. A., Kalutara, P., & Aranda-Mena, G. (2017). Building information modelling for facility management: are we there yet? *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(6), 1119-1154. <https://doi.org/10.1108/ECAM-06-2016-0139>

- Fan, S.-L., Lee, C.-Y., Chong, H.-Y., & Skibniewski, M. J. (2018). A critical review of legal issues and solutions associated with building information modelling. *Technological and Economic Development of Economy*, 24(5), 2098-2130.
<https://doi.org/10.3846/tede.2018.5695>
- Fédération des chambres de commerce du Québec. (2020). *Mémoire à propos du projet de loi No61: Loi visant la relance de l'économie de Québec et l'aténuation des conséquences de l'état d'urgence sanitaire déclaré le 13 mars 2020 en raison de la pandémie de la covid-19.*
- Fitz, D. V., & Saleeb, N. (2019). Examining the quality and management of non-geometric building information modelling data at project hand-over. *Architectural Engineering and Design Management*, 15(4), 297-310.
<https://doi.org/10.1080/17452007.2018.1560243>
- Flynn, M., Gauthier, M., Lamarre, J., Lefebvre, M., & Matteau, F. (2011). *Rapport du groupe de travail sur le fonctionnement de l'industrie de la construction*. Montréal.
- Fournier, P. (2017). Le Québec face au protectionnisme américain : analyse préliminaire et stratégies. *Centre d'études et de recherches internationales*, (10), 37.
- Gallaher, M. P., O'Connor, A. C., Dettbarn, Jr., J. L., & Gilday, L. T. (2004). *Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry* (Rapport No. NIST GCR 04-867). National Institute of Standards and Technology.
<https://doi.org/10.6028/NIST.GCR.04-867>
- Garant, P. (1983). Thérèse ROUSSEAU-HOULE, Les contrats de construction en droit public et privé, Montréal, Wilson & Lafleur/Sorej, 1982, 460 p., ISBN 2-920013-14-9. *Les Cahiers de droit*, 24(4), 1019. <https://doi.org/10.7202/042579ar>
- Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O., & Raahemifar, K. (2017). Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1046-1053.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083>
- Gnanarednam, M., & Jayasena, H. S. (2013). Ability of BIM to satisfy CAFM information requirements. *Sri Lanka*, 10.
- Gouvernement du Québec. (2018). *Rapport sur l'emploi saisonnier de la Table nationale de concertation sur l'emploi saisonnier*. (Rapport No. Document N° 4.3 B).
- Gouvernement du Québec. (2019). *Les infrastructures publiques du Québec*.
- Gouvernement du Québec. Loi sur les cités et villes. , Pub. L. No. C-19 (2020).

Gouvernement du Québec. Règlement sur les contrats de travaux de construction des organismes publics. , Pub. L. No. C-65.1 (2020).

Grant, M. (2003). *Building Chaos: An International Comparison of Deregulation in the Construction Industry* (Gerhard BOSH et Peter PHILLIPS). London : Routledge.

Grosso, M. G., Jankowska, A., & Gonzales, F. (2008). *Trade and regulation: The case of construction services.*

GSA. (2011). GSA BIM Guide For Facility Management. General Services Administration.
Repéré à
www.gsa.gov/cdnstatic/largedocs/BIM_Guide_Series_Facility_Management.pdf

Gudnason, G., & Scherer, R. (Éds). (2012). *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2012.* (S.l.) : CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/b12516>

Halmetoja, E. (2019). The conditions data model supporting building information models in facility management. *Facilities*, 37(7/8), 484-501. <https://doi.org/10.1108/F-11-2017-0112>

Hamledari, H., Rezazadeh Azar, E., & McCabe, B. (2018). IFC-Based Development of As-Built and As-Is BIMs Using Construction and Facility Inspection Data: Site-to-BIM Data Transfer Automation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(2), 04017075. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000727](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000727)

Havenvid, M. I., Holmen, E., Linné, Å., & Pedersen, A.-C. (2017). Creating relationship continuity across projects in the construction industry: Deliberate, emergent and deliberately emergent strategies. *IMP Journal*, 11(2), 207-229.
<https://doi.org/10.1108/IMP-07-2016-0015>

Heinrichs, B. (2015). *Canada's broken compulsory trades system.* Frontier center for public policy.

Henderson, J. R., & Ruikar, K. (2010). Technology implementation strategies for construction organisations. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 17(3), 309-327. <https://doi.org/10.1108/09699981011038097>

Hosseini, M. R., Roelvink, R., Papadonikolaki, E., Edwards, D. J., & Pärn, E. (2018). Integrating BIM into facility management: Typology matrix of information handover requirements. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 36(1), 2-14. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-08-2017-0034>

- Hyun, S. Y., Marjanovic-Halburd, L., Raslan, R., & Rovas, D. (2016). Bridging the performance gap: Information delivery manual framework to improve life-cycle information availability, 9.
- IFMA. (2013). *BIM for Facility Managers*. Hoboken, New Jersey : Wiley.
- International Organization for Standardization. (2017). ISO 41011:2017. Repéré à <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:41011:ed-1:v1:en:en>.
- International Organization for Standardization. (2018a). BS EN ISO19650-2.pdf.
- International Organization for Standardization. (2018b). ISO 19650-1:2018.
- Ito, K. (2019). Change beyond building information modeling to a “Digital Twin” in architecture. *Japan Architectural Review*, 2(4), 391-391.
<https://doi.org/10.1002/2475-8876.12123>
- Jiang, S., Jiang, L., Han, Y., Wu, Z., & Wang, N. (2019). OpenBIM: An Enabling Solution for Information Interoperability. *Applied Sciences*, 9(24), 5358.
<https://doi.org/10.3390/app9245358>
- Jo, T. M., Ishak, S. S. M., & Rashid, Z. Z. A. (2018). Overview of the Legal Aspects and Contract Requirements of the BIM Practice in Malaysian Construction Industry. *MATEC Web of Conferences*, 203, 02011.
<https://doi.org/10.1051/matecconf/201820302011>
- Kalach, M., Srour, I., & Abdul-Malak, M.-A. (2018). Envisioned Roles of BIM for Design Delivery under Design-Build Projects. Dans *Construction Research Congress 2018* (pp. 552-561). New Orleans, Louisiana : American Society of Civil Engineers.
<https://doi.org/10.1061/9780784481264.054>
- Kang, T.-W., & Choi, H.-S. (2015). BIM perspective definition metadata for interworking facility management data. *Advanced Engineering Informatics*, 29(4), 958-970.
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.09.004>
- Kasprzak, C., Ramesh, A., & Dubler, C. (2013). Developing Standards to Assess the Quality of BIM Criteria for Facilities Management. Dans *AEI 2013* (pp. 680-690). State College, Pennsylvania, United States : American Society of Civil Engineers.
<https://doi.org/10.1061/9780784412909.067>
- Kelly, G., Serginson, M., Lockley, S., Dawood, N., & Kassem, M. (2013). BIM for facility management: A review and a case study investigating the value and challenges, 10.

- Kim, J.-U., Hadadi, O., Kim, H., & Kim, J. (2018). Development of A BIM-Based Maintenance Decision-Making Framework for the Optimization between Energy Efficiency and Investment Costs. *Sustainability*, 10(7), 2480. <https://doi.org/10.3390/su10072480>
- Koch, C., Hansen, G. K., & Jacobsen, K. (2019). Missed opportunities: two case studies of digitalization of FM in hospitals. *Facilities*, 37(7/8), 381-394. <https://doi.org/10.1108/F-01-2018-0014>
- Kokkonen, A., & Alin, P. (2016). Practitioners deconstructing and reconstructing practices when responding to the implementation of BIM. *Construction Management and Economics*, 34(7-8), 578-591. <https://doi.org/10.1080/01446193.2016.1164327>
- Latiffi, A. A., & Tai, N. H. (2019). The Influence of Building Information Modelling (BIM) towards Return on Investment (ROI) from the Perspective of Malaysian Developers: A Qualitative Approach. *MATEC Web of Conferences*, 266, 05007. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201926605007>
- Laurini, E., Rotilio, M., Lucarelli, M., & De Berardinis, P. (2019). Technology 4.0 for buildings management: from building site to the interactive building book. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11, 707-714. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-707-2019>
- Le Moigne, J.-L. (2009). L'intelligence de l'Action appelle l'exercice de la Pensée Complexe. Pragmatique et Epistémique sont inséparables. *Synergies Monde*, (9), 23-48.
- Lea, G., Ganah, A., Goulding, J., & Ainsworth, N. (2015). Identification and analysis of UK and US BIM standards to aid collaboration (pp. 505-516). Communication présentée au BIM 2015, Bristol, UK. <https://doi.org/10.2495/BIM150411>
- Lin, Y.-C., Chen, Y.-P., Huang, W.-T., & Hong, C.-C. (2016). Development of BIM Execution Plan for BIM Model Management during the Pre-Operation Phase: A Case Study. *Buildings*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.3390/buildings6010008>
- Lindblad, H., & Vass, S. (2015). BIM Implementation and Organisational Change: A Case Study of a Large Swedish Public Client. *Procedia Economics and Finance*, 21, 178-184. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00165-3](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00165-3)
- Medellin, K., Dominguez, A., Cox, G., Joels, K., & Billante, P. (2010). University health system: A case study. Communication présentée au COBie Case Studies and Innovations Workshop, Washington, DC : National Institute of Building Sciences.

- Merschbrock, C., & Munkvold, B. E. (2015). Effective digital collaboration in the construction industry – A case study of BIM deployment in a hospital construction project. *Computers in Industry*, 73, 1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.07.003>
- Miettinen, R., Kerosuo, H., Metsälä, T., & Paavola, S. (2018). Bridging the life cycle: a case study on facility management infrastructures and uses of BIM. *Journal of Facilities Management*, 16(1), 2-16. <https://doi.org/10.1108/JFM-04-2017-0017>
- Miller, R. M., Chan, C. D., & Farmer, L. B. (2018). Interpretative Phenomenological Analysis: A Contemporary Qualitative Approach. *Counselor Education and Supervision*, 57(4), 240-254. <https://doi.org/10.1002/ceas.12114>
- Mohd Nawi, M. N., Baluch, N., & Bahauddin, A. Y. (2014). Impact of Fragmentation Issue in Construction Industry: An Overview. *MATEC Web of Conferences*, 15, 01009. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20141501009>
- Mota, P., Machado, F., Biotto, C., Mota, R., & Mota, B. (2019). BIM for Production: Benefits and Challenges for Its Application in a Design-Bid-Build Project (pp. 687-698). Communication présentée au 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Dublin, Ireland.
<https://doi.org/10.24928/2019/0243>
- Motamedi, A., Iordanova, I., & Forgues, D. (2018). FM-BIM Preparation Method and Quality Assessment Measures (p. 8). Communication présentée au 17th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Tampere, Finland.
- Motamedi, A., Robitaille, M., Poirier, E. A., & Forgues, D. (2020). Introduction à la gestion des actifs facilitée par la modélisation des données du bâtiment (BIM). GRIDD.
- Munir, M., Kiviniemi, A., Finnegan, S., & Jones, S. W. (2019). BIM business value for asset owners through effective asset information management. *Facilities*, 38(3/4), 181-200. <https://doi.org/10.1108/F-03-2019-0036>
- Munir, M., Kiviniemi, A., Jones, S., & Finnegan, S. (2020). BIM-based operational information requirements for asset owners. *Architectural Engineering and Design Management*, 16(2), 100-114. <https://doi.org/10.1080/17452007.2019.1706439>
- Munir, M., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2019). Business value of integrated BIM-based asset management. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(6), 1171-1191. <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2018-0105>
- Nguyen, T. A., & Aiello, M. (2013). Energy intelligent buildings based on user activity: A survey. *Energy and Buildings*, 56, 244-257.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.005>

- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121-139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Olbina, S., & Elliott, J. W. (2019). Contributing Project Characteristics and Realized Benefits of Successful BIM Implementation: A Comparison of Complex and Simple Buildings. *Buildings*, 9(8), 175. <https://doi.org/10.3390/buildings9080175>
- Osztermayer, J., Zhang, H. G., & Feser, K. (s.d.). Enhanced Competitiveness with a Modern Asset Management System, 7.
- Pandey, A., Shahbodaghlu, F., & Burger, J. (2016). Legal and Contractual Challenges of Building Information Modeling—Designers' Perspectives. Dans *Construction Research Congress 2016* (pp. 519-527). San Juan, Puerto Rico : American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784479827.053>
- Peters, L. D., Johnston, W. J., Pressey, A. D., & Kendrick, T. (2010). Collaboration and collective learning: networks as learning organisations. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 25(6), 478-484. <https://doi.org/10.1108/08858621011066062>
- Philp, D., Churcher, D., & Davidson, S. (2019). *Government Soft Landings*. Apollo - University of Cambridge Repository. <https://doi.org/10.17863/CAM.45315>
- Pishdad-Bozorgi, P., Gao, X., Eastman, C., & Self, A. P. (2018). Planning and developing facility management-enabled building information model (FM-enabled BIM). *Automation in Construction*, 87, 22-38. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.004>
- Poirier, E., Succar, B., & Kassem, M. (2019). *Macro Building Information Modeling (BIM) adoption in the province of Quebec.pdf*. Initiative Québécoise pour la Construction 4.0.
- Québec (Province), Commission d'enquête sur l'octroi et la gestion des contrats publics dans l'industrie de la construction, Charbonneau, F., Lachance, R., & Bibliothèque numérique canadienne (Firme). (2016). *Rapport final de la Commission d'enquête sur l'octroi et la gestion des contrats publics dans l'industrie de la construction*. (S.l.) : (s.n.). Repéré à <https://www.deslibris.ca/ID/248442>
- Rezgui, Y., Beach, T., & Rana, O. (2013). A governance approach for BIM management across lifecycle and supply chains using mixed-modes of information delivery. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(2), 239-258. <https://doi.org/10.3846/13923730.2012.760480>
- Riazi, S. R. M., Zainuddin, M. F., Nawi, M. N. M., & Lee, A. (2020). A Critical Review of Fragmentation Issues in the Construction Industry. *Talent Development*, 13.

- Rigaud, B., Bernier, L., Côté, L., Facal, J., & Lévesque, B. (2008). *La politique économique québécoise entre libéralisme et coordination*. L'Observatoire de l'administration publique.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.
<https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- Schöttle, A., Haghsheno, S., & Gehbauer, F. (2014). Defining cooperation and collaboration in the context of lean construction (p. 12). Communication présentée au Proc. 22nd Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction.
- Seaden, G., & Manseau, A. (2001). Public policy and construction innovation. *Building Research & Information*, 29(3), 182-196.
<https://doi.org/10.1080/09613210010027701>
- Shen, Z., Jiang, L., Grosskopf, K., & Berryman, C. (2012). Creating 3D Web-Based Game Environment Using BIM Models for Virtual On-Site Visiting of Building HVAC Systems. Dans *Construction Research Congress 2012* (pp. 1212-1221). West Lafayette, Indiana, United States : American Society of Civil Engineers.
<https://doi.org/10.1061/9780784412329.122>
- Shiroishi, Y., Uchiyama, K., & Suzuki, N. (2018). Society 5.0: For Human Security and Well-Being. *Computer*, 51(7), 91-95. <https://doi.org/10.1109/MC.2018.3011041>
- Siebelink, S., Voordijk, J. T., & Adriaanse, A. (2018). Developing and Testing a Tool to Evaluate BIM Maturity: Sectoral Analysis in the Dutch Construction Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(8), 05018007.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001527](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001527)
- Simon, A. (2016). EuroFM Research Symposium, 13.
- Société québécoise des infrastructures. (2016). Guide d'application du BIM à la société québécoise des infrastructures.
- Solihin, W., Eastman, C., Lee, Y.-C., & Yang, D.-H. (2017). A simplified relational database schema for transformation of BIM data into a query-efficient and spatially enabled database. *Automation in Construction*, 84, 367-383.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.002>
- Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. Thousand Oaks : Sage Publications.

- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357-375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
- Succar, B., & Poirier, E. (2020). Lifecycle information transformation and exchange for delivering and managing digital and physical assets. *Automation in Construction*, 112, 103090. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103090>
- Succar, B., Saleeb, N., & Sher, W. (2016). Model Uses: Foundations for a Modular Requirements Clarification Language, 13.
- Sun, C., Jiang, S., Skibniewski, M. J., Man, Q., & Shen, L. (2015). A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry. *Technological and Economic Development of Economy*, 23(5), 764-779. <https://doi.org/10.3846/20294913.2015.1087071>
- Svetel, I., Ivanišević, N., & Isailović, D. (2020). BIM based project management and digital building model lifecycle management (p. 8). Communication présentée au 7th International Academic Conference on Places and Technologies, Belgrade.
- Talamo, C., & Bonanomi, M. (2015). *Knowledge Management and Information Tools for Building Maintenance and Facility Management*. Cham : Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23959-0>
- Tan, A. Z. T., Zaman, A., & Sutrisna, M. (2018). Enabling an effective knowledge and information flow between the phases of building construction and facilities management. *Facilities*, 36(3/4), 151-170. <https://doi.org/10.1108/F-03-2016-0028>
- Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P., & Gao, X. (2020). BIM assisted Building Automation System information exchange using BACnet and IFC. *Automation in Construction*, 110, 103049. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103049>
- Tay, L., & Ooi, J. T. L. (2001). Facilities management: a ``Jack of all trades''? *Facilities management*, 19(10), 6.
- Thabet, W., Lucas, J., & Johnston, S. (2016). A Case Study for Improving BIM-FM Handover for a Large Educational Institution. Dans *Construction Research Congress 2016* (pp. 2177-2186). San Juan, Puerto Rico : American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784479827.217>
- Vass, S., & Gustavsson, T. K. (2017). Challenges when implementing BIM for industry change. *Construction Management and Economics*, 35(10), 597-610. <https://doi.org/10.1080/01446193.2017.1314519>

- Wijekoon, C., Manewa, A., & Ross, A. D. (2018). Enhancing the value of facilities information management (FIM) through BIM integration. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(4), 809-824. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2016-0041>
- William East, E., Nisbet, N., & Liebich, T. (2013). Facility Management Handover Model View. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(1), 61-67. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000196](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000196)
- Winfield, M. (2020). Construction 4.0 and ISO 19650: a panacea for the digital revolution? *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law*, 173(4), 175-181. <https://doi.org/10.1680/jmapl.19.00051>
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: design and methods* (4th ed). Thousand Oaks, Calif : Sage Publications.
- Zhang, J., Liu, Q., Hu, Z., Lin, J., & Yu, F. (2017). A multi-server information-sharing environment for cross-party collaboration on a private cloud. *Automation in Construction*, 81, 180-195. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.021>
- Zheng, L., Lu, W., Chen, K., Chau, K. W., & Niu, Y. (2017). Benefit sharing for BIM implementation: Tackling the moral hazard dilemma in inter-firm cooperation. *International Journal of Project Management*, 35(3), 393-405. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.01.006>
- Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2017). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety Science*, 97, 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.027>