

Mai 2020

RAPPORT TECHNIQUE 2020-001

**Étude des pratiques de gestion des coûts basée sur
le BIM dans l'industrie québécoise de la
construction**

Équipe de recherche

- Ritha Edwige Oumbé Monteu
- Conrad Boton
- Daniel Forgues

Sommaire du rapport

1.	Introduction.....	1
2.	État de l’art sur l’utilisation du BIM pour la gestion des coûts	3
2.1	Qu’est-ce que le BIM 5D ?.....	3
2.2	Quelques chiffres sur l’adoption du BIM 5D dans le monde	4
2.3	Les enjeux connus.....	5
2.2.1	Les enjeux d’ordre technologique	6
2.2.2	Les enjeux d’ordre organisationnel	6
2.2.3	Les enjeux liés aux processus.....	7
3.	Méthodologie et profil des participants.....	9
3.1	Étapes de la recherche	9
3.1.1	Étude préalable : recherche documentaire	9
3.1.2	Pré-enquête	9
3.1.3	Conception du questionnaire	9
3.1.4	Pré-test	10
3.1.5	Distribution du questionnaire	10
3.2	Structure du questionnaire.....	11
3.3	Profil des répondants.....	12
4.	Pratiques et enjeux liés au BIM 5D dans l’industrie québécoise de la construction	14
4.1	Usages du BIM pour la gestion des coûts.....	16
4.1.1	Utilisation du BIM pour l’estimation des coûts.....	16
4.1.2	Usages du BIM pour la détermination du budget.....	17
4.1.3	Usages du BIM pour le contrôle des coûts.....	18
4.1.4	Usages du BIM pour la gestion des réclamations	19
4.1.5	Les logiciels utilisés	20
4.2	Avantages perçus	21
4.3	Enjeux de l’implémentation du BIM 5D	23
4.3.1	Enjeux d’ordre technologique	23
4.3.2	Enjeux d’ordre organisationnel	24
4.3.3	Enjeux d’ordre procédural	25

4.4	Perspectives d'utilisation.....	27
5.	Conclusion	28
6.	Références bibliographiques.....	29

Liste des figures

Figure 1 : Utilisation du BIM durant le cycle de vie d'un bâtiment.....	3
Figure 2 : Domaines d'activité des participants	12
Figure 3 : Taille de l'entreprise.....	13
Figure 4 : Nombre d'années d'utilisation du BIM	14
Figure 5 : Taux d'implémentation du BIM 5D	15
Figure 6 : Éléments de la gestion des coûts pour lesquels le BIM est utilisé	15
Figure 7 : Usages du BIM 5D pour l'estimation de coûts	16
Figure 8 : Usages du BIM 5D pour la détermination de budget.....	17
Figure 9 : Usages du BIM 5D pour le contrôle de coûts	18
Figure 10 : Usages du BIM 5D pour les réclamations.....	19
Figure 11 : Outils BIM 5D utilisés	20
Figure 12 : Raisons de la non-utilisation du BIM 5D par les participants.....	27
Figure 13 : Démarches adoptées pour l'implémentation du BIM 5D	28

Liste des tableaux

Tableau 1 : Avantages du BIM 5D	21
Tableau 2 : Enjeux d'ordre technologique	23
Tableau 3 : Enjeux d'ordre organisationnel	24
Tableau 4 : Enjeux d'ordre procédural.....	26

1. Introduction

L'industrie de la construction comparativement aux autres industries accuse un certain retard technologique. De plus, sa logique de travail en silos et la non-implication des différentes parties dès le début affectent grandement sa productivité et la prédictibilité des coûts et échéanciers. Ceci est d'autant plus alarmant lorsqu'après une étude réalisée sur 258 projets d'infrastructures dans 20 pays sur 5 continents, Flyvbjerg, Skamris holm et Buhl (2003) ont conclu que presque neuf projets sur dix sont sujets à une mauvaise estimation de coûts, avec une probabilité pour un projet donné d'être surestimé de 86% et d'être sous-estimé de 14%. Selon les auteurs de l'étude, le coût réel de construction est en moyenne supérieur de 28% au coût budgétisé.

Zhao Xia Ma et Guang Cai Yan (2014) expliquent que l'un des problèmes auxquels fait face la gestion des coûts est le fait que les entreprises ont du mal à s'arrimer avec les nouvelles technologies. Ces technologies sont de trois catégories. Nous avons tout d'abord les technologies de construction qui permettent une optimisation des processus de construction et ainsi une réduction considérable des coûts et des délais tout en améliorant la qualité. Ensuite, les technologies de l'information, non seulement pour une collecte d'information sur le marché réel afin de faire une planification adéquate d'acquisition des ressources, mais aussi pour un monitoring des informations de coûts sur le chantier en temps réel. Et enfin les nouvelles technologies de modélisation : le BIM avec sa composante 5D qui permet un suivi dynamique en temps réel des coûts sur le chantier, d'actualiser l'estimation au cours de la mise en œuvre, de relever les écarts et de prendre les mesures appropriées pour les corriger.

L'avènement du BIM (Building Information Modeling) et de sa composante relative à la gestion des coûts (BIM 5D) permet d'intégrer la gestion des coûts dès le début du projet en extrayant les quantités de manière précise en temps réel dans les différentes phases, permettant ainsi aux maîtres d'ouvrage d'avoir de meilleures estimations du coût de leurs projets, qui est le principal facteur décisionnel de réalisation des projets. D'ailleurs Khanzode, Fischer et Reed (2008) estime une précision de 3% entre le coût budgétisé et le coût en fin de construction en intégrant le BIM au début du projet.

De nombreuses statistiques existent sur l'implémentation du BIM à l'échelle internationale depuis son avènement il y a plus de trois décennies. Entre autres, l'enquête menée par McGraw-Hill Construction (2012) a relevé un taux d'adoption du BIM en Amérique du Nord de 71% (72% pour le Canada). Au Royaume-Uni, 74% des répondants au sondage de 2018 ont dit à la fois connaître et utiliser réellement le BIM (National Building Specification, 2018). En Australie, 49% des architectes et 75% des ingénieurs et des entrepreneurs utilisent le BIM (Built Environment Innovation and Industry Council, 2010).

L'industrie de la construction du Québec est encore réticente bien que cette technologie et ses différents outils existent depuis un certain moment et s'implémentent grandement à travers le monde. En effet, seul 31% des professionnels de l'industrie affirment avoir adopté le BIM (Tahrani, Forgues, & Poirier, 2015). Cependant, aucune étude n'a été spécifiquement réalisée sur l'implémentation du BIM 5D au Québec. Les pratiques et les enjeux spécifiques à l'utilisation du BIM 5D dans l'industrie québécoise de la construction ne sont donc pas connus.

L'objectif principal de notre étude est de présenter le tableau général des pratiques associées à l'implémentation du BIM 5D dans l'industrie de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction au Québec.

Spécifiquement, nous visons à :

- déterminer quels sont les pratiques actuelles de gestion de coûts 5D et les logiciels d'estimation BIM utilisés dans l'industrie de la construction;
- identifier les avantages et les enjeux de l'implémentation du BIM 5D.

Afin d'y parvenir, nous avons élaboré un questionnaire sur la base des résultats des études menées sur le sujet dans le monde. Le questionnaire a ensuite été soumis à un échantillon de professionnels de l'industrie de la construction au Québec, reconnus pour leur expertise en estimation. Les réponses au questionnaire sont strictement confidentielles, on ne peut donc associer les participants à leurs réponses.

Le présent rapport de projet est structuré en cinq chapitres. Dans le premier chapitre qu'est l'introduction, nous situons le contexte de notre étude afin d'en ressortir la problématique et les objectifs. Dans le deuxième chapitre, nous faisons une revue de littérature des concepts clés de notre sujet. Tout d'abord nous présentons la gestion conventionnelle des coûts de construction, ses composantes et ses limites. Ensuite nous présentons le BIM 5D, ses outils, les avantages et enjeux que nous avons répertoriés de différents auteurs dans la littérature, les pratiques actuelles et les récentes avancées en la matière. Dans le troisième chapitre, la méthodologie de recherche employée est développée. Dans le quatrième chapitre, nous présentons et analysons les résultats de notre enquête. Enfin, dans le cinquième chapitre qu'est la conclusion, nous faisons un bref résumé de notre étude et de ses résultats, une discussion sur leur fiabilité et nous donnons quelques recommandations pour la suite de la recherche dans ce domaine.

2. État de l'art sur l'utilisation du BIM pour la gestion des coûts

2.1 Qu'est-ce que le BIM 5D ?

Le terme *Building Information Modeling* (BIM) fût utilisé pour la première fois dans un article paru en 1986 par l'ingénieur et informaticien Robert Aish. Il peut être défini de différentes manières. Le *National Institute of Standards and Technology* (NIST) (2007) le définit comme « une [...] représentation numérique des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'une installation. En tant que tel, il sert de source de connaissances partagée pour des informations sur une installation constituant une base fiable pour les décisions tout au long de son cycle de vie, du début à la fin » (Figure 1). Il est aussi « [...] une technologie et un ensemble de processus associés permettant de produire, de communiquer et d'analyser des modèles de bâtiment » (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011). En effet, bien que la lettre M de BIM soit admise comme étant *Modeling*, elle peut être vue sous plusieurs angles. Il faut modéliser (*Modeling*) les données afin de produire la maquette (*Model*) qui représente le projet sous forme 3D ou nD en ajoutant d'autres dimensions (temps, coûts...) et ensuite l'utiliser pour gérer (*Management*) le projet le long de son cycle de vie (Boton & Lefebvre, 2020). Le BIM est donc bien plus qu'une technologie, mais un ensemble de processus dont le but est d'optimiser les méthodes de travail de l'industrie de la construction en facilitant le partage de l'information et la collaboration entre les différentes parties prenantes tout au long du cycle de vie des projets, de la planification à la démolition.

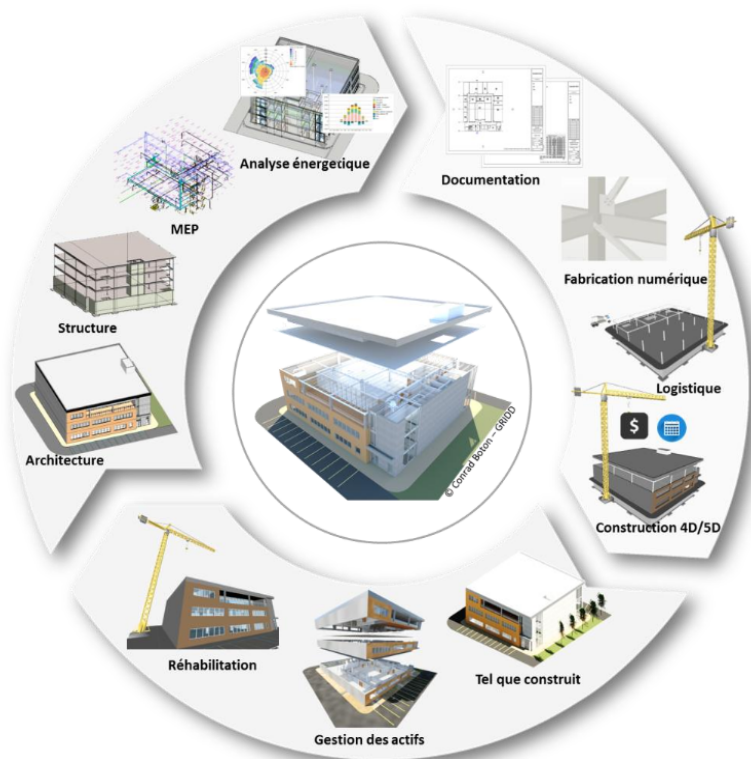


Figure 1 : Utilisation du BIM durant le cycle de vie d'un bâtiment

Le BIM 5D consiste à associer la variable coût à un modèle BIM. Soit en incorporant les données de coût dans les objets du modèle BIM eux-mêmes, soit en faisant une liaison directe avec des logiciels d'estimation (Boon & Prigg, 2012). La modélisation paramétrique facilite donc la création d'une relation entre les éléments et inclut la spécification et les propriétés d'éléments et d'objets individuels, permettant l'extraction d'informations complètes et précises à partir du modèle qui peut être directement utilisé pour l'établissement des coûts (Eastman et al., 2011). En effet, les quantités peuvent être extraites directement et instantanément du modèle BIM avec un niveau de précision élevé. En affectant le coût unitaire aux quantités extraites, nous obtenons automatiquement une analyse de coûts précise et fiable. Par conséquent, on peut efficacement procéder à des modifications en temps réel et à une évaluation de l'impact du changement sur le coût du projet.

Les premiers logiciels ont été développés aux États-Unis, comme INNOVAYA et Vico. En Europe on a COST X et iTWO. Vigneault et al. (2019) ont dressé une liste des différents outils BIM 5D et les ont classifiés selon leur capacité à répondre aux exigences en matière de gestion des coûts durant les phases d'un projet : pré-construction, construction et post-construction. Selon eux, iTWO est l'outil le plus efficace à utiliser pendant tout le cycle de vie d'un projet, obtenant le deuxième meilleur résultat au niveau de la pré-construction et les meilleurs résultats lors des phases de construction et de post-construction. Vico office est le deuxième outil le plus efficace en obtenant le meilleur résultat pour le niveau de pré-construction, à égalité avec CostX, et la deuxième meilleure évaluation pour les niveaux de construction et post-construction. Enfin, CostX a été établi comme le troisième outil le plus efficace en matière de gestion coûts en obtenant la meilleure évaluation au niveau de la pré-construction, la quatrième place au niveau de la construction et la troisième évaluation au niveau post-construction.

2.2 Quelques chiffres sur l'adoption du BIM 5D dans le monde

Selon Smith (2014), l'enquête la plus complète menée dans le monde sur l'utilisation du BIM par les économistes de la construction fût celle de la RICS (2011) au Royaume-Uni et aux États-Unis. L'enquête fournit un aperçu du niveau d'adoption de la méthode BIM par la profession d'économiste de la construction et des problèmes rencontrés qui pourraient bien s'appliquer à de nombreux autres pays dans lesquels des économistes de la construction exercent. Sur 298 participants, seules 10% des entreprises d'économistes de la construction utilisaient régulièrement le BIM, et 29% avaient un engagement limité avec le BIM. En conséquence, 61% des entreprises n'avaient aucun engagement avec BIM. Pour les économistes de la construction utilisant le BIM, l'utilisation la plus fréquente était la planification de la construction (14%), suivie de l'extraction des quantités et de la gestion des installations / des actifs (8% chacun). Seules 4% des entreprises investissent régulièrement dans la formation BIM et 10% seulement évaluent activement les outils BIM en vue de leur adoption potentielle (RICS, 2011). Cela indique que la profession d'économiste de la construction dans cette région n'adopte pas

le BIM au niveau requis. Cependant, étant donné que le mandat du gouvernement britannique concernant l'utilisation du BIM a été introduit au moment de cette enquête, il serait intéressant de voir quel effet cela a eu sur les entreprises d'économistes de la construction depuis lors (Smith, 2014).

Au Royaume-Uni, une enquête menée par Software Advice en 2016 auprès des Petites et Moyennes Entreprises a montré que 60% des utilisateurs recherchaient des options de logiciel d'estimation des coûts et 24% des répondants souhaitaient accroître la transparence et le niveau de surveillance des projets. Cependant, 50% utilisent encore des méthodes manuelles pour calculer les coûts, préparer les contrats et la gestion de projet (Gobau, 2016, cité dans Mesároš et al., 2019).

Selon Boon et Prigg (2012), le BIM 5D est relativement peu utilisé en Nouvelle-Zélande en raison d'un certain nombre d'obstacles limitant sa mise en œuvre dans l'industrie. Une enquête menée auprès de 20 économistes de la construction en Nouvelle-Zélande a révélé que presque tous les répondants avaient participé à moins de cinq projets utilisant le BIM 5D (Boon & Prigg, 2012).

En comparant la mise en œuvre du BIM en Islande et dans les pays scandinaves il en ressort que le taux d'utilisation BIM dans l'estimation des coûts est 14% plus élevé dans la moyenne des pays scandinaves. Les données sur les appels d'offres et l'extraction des quantités sont également intéressantes. Dans ce cas également, les pays scandinaves sont au premier plan avec 9% et 18% respectivement (Gobau, 2017, cité dans Mesároš et al., 2019).

En Slovaquie, 12,9% des entreprises utilisent les outils BIM 5D, mais seulement pour les devis quantitatifs et 6,5% seulement, l'utilisent pour les devis quantitatifs et le budget en lui-même. Des conclusions intéressantes sur l'état de mise en œuvre du BIM en Slovaquie ont été présentées par des recherches réalisées par Mesároš, Selín et Mandičák (cités dans Mesároš et al., 2019) dont le but était l'identification d'approches en matière de gestion des coûts dans les entreprises de construction slovaques. Cette recherche a montré l'influence de l'utilisation du BIM pour réduire les coûts dans les petites entreprises. Ce constat est principalement dû au fait que la technologie BIM est principalement utilisée par les concepteurs qui représentaient les petites entreprises dans cette recherche (Mesároš et al., 2019).

2.3 Les enjeux connus

Avant que le potentiel du BIM 5D puisse être vraiment réalisé, les barrières limitant sa mise en œuvre doivent être parfaitement comprises (Mitchell, 2013). Une revue des différentes études

menées sur le sujet nous a permis de regrouper les enjeux en trois catégories : les enjeux d'ordre technologique, les enjeux d'ordre organisationnel et les enjeux liés au processus.

2.2.1 Les enjeux d'ordre technologique

L'absence de normes électroniques pour coder les logiciels BIM selon les méthodes standards de mesure : Bien que les outils d'estimation BIM puissent générer de grandes quantités d'éléments de construction afin de produire efficacement des estimations de coûts, les quantités extraites ne comprennent pas suffisamment les méthodes et les procédures de construction, ce qui réduit la précision des estimations (Shen & Issa, 2010). Selon Stanley et Thurnell (2014), l'absence de norme électronique pour coder le logiciel BIM selon les méthodes standards de mesure limite le potentiel du BIM 5D.

Le manque de compatibilité logicielle : Bien que plusieurs auteurs à l'instar de Olatunji (2011) et Stanley et Thurnell (2014) suggèrent que le fait que les éditeurs de logiciels BIM qui utilisent des types de fichiers propriétaires limitant les échanges entre les modèles BIM et les logiciels d'estimation est un obstacle majeur à la mise en œuvre du BIM 5D, tous les participants à l'enquête de Harrison et Thurnell (2014) ont exprimé leur désaccord sur le fait que les modèles BIM ne sont pas compatibles avec les logiciels d'estimation, car les logiciels internes de leurs sociétés étaient compatibles avec divers formats de modèles BIM. Cependant ils s'accordent sur les problèmes liés à l'échange de données, par exemple le transfert inexact des données des fichiers Revit vers les types de fichiers Industry Foundation Class (IFC). Bien que les IFC soient compatibles avec les logiciels d'estimation des entreprises, certaines ont abandonné l'utilisation des IFC, en raison de la perte de données et de l'échange inexact d'informations à partir de fichiers Revit (Harrison & Thurnell, 2014). Il existe toujours des problèmes de compatibilité associés aux fichiers de type IFC que l'industrie tente actuellement de résoudre (Thurairajah & Goucher 2013).

2.2.2 Les enjeux d'ordre organisationnel

Les coûts d'implémentation (coûts de logiciel, de formation et de matériel) parfois élevés : Les mises à niveau logicielles et matérielles sont considérées comme des obstacles importants à la mise en œuvre du BIM, en particulier pour les petites et moyennes entreprises (PME) (McGraw-Hill Construction, 2012). Thurairajah et Goucher (2013) indiquent une forte exigence de formation associée à la mise en œuvre de la BIM, qui, bien que longue et difficile (car peu d'utilisateurs en ont une connaissance approfondie), est considérée comme critique pour l'adoption du BIM.

Le manque de cadre contractuel adapté : Foster (cité par Harrison et Thurnell, 2014) estime que le manque de cadre contractuel pour soutenir les méthodes d'approvisionnement collaboratives entrave considérablement l'utilisation du BIM, en raison du système juridique actuel qui soutient les parties prenantes de manière isolée, et qu'une réforme est nécessaire afin de reconnaître la responsabilité partagée du modèle BIM. En effet, les questions juridiques telles que qui a les droits sur les informations contenues dans les modèles BIM, qui est en charge des informations contenues dans le modèle, ce qui se produit lorsqu'il y a des erreurs dans le modèle et les autres responsabilités liées au modèle doivent être adressées (Boon, 2009). Klein (cité par Stanley et Thurnell, 2014) partage cet avis et signale que « avant que le potentiel de BIM ne soit pleinement exploité avec les parties impliquées, il faut innover dans les contrats et les assurances qui garantissent aux parties prenantes une perte financière ».

La résistance culturelle dans les entreprises : Stanley et Thurnell (2014) affirment que la culture antagoniste de l'industrie pose un autre obstacle à l'adoption et à l'utilisation réussies du BIM par les économistes de la construction, et que la transformation culturelle est un défi bien plus grand que tout défi technologique découlant du BIM. Il y a une certaine réticence de la part des professionnels plus âgés à l'utilisation du BIM 5D, mais les plus jeunes sont beaucoup plus optimistes (Boon & Prigg, 2012). De plus, certaines entreprises estiment que leurs logiciels actuels répondent à leurs besoins. Ceci a été confirmé par l'enquête de Stanley et Thurnell (2014) où un seul des 8 participants a déclaré ne pas être d'accord sur le fait que certaines entreprises estiment que leurs logiciels actuels répondent à leurs besoins, elles ne voient donc aucun besoin de changement. Cela peut suggérer que les plus petites entreprises considèrent que le BIM 5D n'est pas une option viable pour le moment.

L'absence d'intervention directe du gouvernement pour la mise en place de normes / protocoles BIM et manque de demande de la part des clients et donneurs d'ouvrages : Selon Harrison et Thurnell (2014), il y a un manque d'intervention du gouvernement pour mettre en place les protocoles requis pour faciliter le BIM 5D (par exemple, la normalisation de l'utilisation des IFC, etc.). Masterspec (2012) a également signalé qu'un manque d'intervention gouvernementale limitait actuellement la mise en œuvre de la BIM. L'acceptation du BIM serait éventuellement accrue par les demandes des clients ou par l'intervention du gouvernement (Hasan & Rasheed, 2019).

2.2.3 Les enjeux liés aux processus

La compatibilité parfois insuffisante avec les formats d'éléments reconnus par le secteur pour la planification des coûts et les méthodes standards de mesures actuelles : La conception intégrée dans les modèles BIM n'est pas compatible avec les formats des consultants pour l'estimation (c'est-à-dire le format élémentaire), ni pour les planifications de quantités (Harrison & Thurnell, 2014). Afin de pallier ce problème, de nouveaux systèmes de classification spécialement adaptés au BIM ont été développés. Par exemple l'Institut néo-zélandais des économistes de la construction a tenté de réviser la méthode de mesures standard de la Nouvelle-Zélande en proposant l'utilisation du système de classification

coordonné des informations sur le bâtiment (CBI). Le système de classification CBI a été créé pour coordonner les sources d'informations telles que les dessins, les spécifications, les quantités, les informations techniques et de recherche et les publications (Masterspec, 2012). L'institut est parvenu à la conclusion qu'il s'agissait d'un système de codage similaire à celui utilisé à Singapour, le Construction Electronic Measurement Standard (CEMS), système de classification mis en place pour la mesure BIM qui est mondialement reconnu pour son efficacité (Boon & Prigg, 2012).

Le besoin d'une meilleure intégration dans le modèle : Un manque d'intégration dans les modèles BIM diminue la fiabilité et l'efficacité de la 5D (par exemple, lorsque chaque discipline de conception développe son propre modèle BIM de manière isolée) (Stanley & Thurnell, 2014). Boon et Prigg (2012) affirment qu'il faut trouver un équilibre entre les informations que les architectes doivent utiliser pour construire les modèles 3D et les informations supplémentaires nécessaires aux estimateurs pour modéliser les coûts des projets. Ce manque d'intégration, où les acteurs de l'industrie travaillent séparément, et par conséquent les informations requises pour le BIM sont également séparées, est considéré comme un obstacle majeur à la mise en œuvre du BIM 5D (Bylund & Magnusson, 2011).

Certains problèmes liés aux modèles : Dans certains cas, les modèles ne sont pas fournis aux estimateurs. Et lorsqu'ils le sont, ils ne sont pas exploitables à leur plein potentiel à cause de la manière dont les informations sont structurées ou simplement parce que certains éléments ne sont pas modélisés (Monteiro & Martins, 2013). Selon Smith (2014), la qualité des modèles est un problème majeur. Selon lui, bien que le clash detection permet de réduire les erreurs dans les modèles, il existe des limites en termes de vérification de toutes les informations. Ces limites sont parfois dû à des honoraires de consultants insuffisants développer le modèle au niveau requis. De ce fait, les clients doivent être prêts à investir dans le développement d'un modèle de qualité.

L'absence de normes / protocoles pour le codage des objets dans les modèles BIM : Le manque de protocoles de codage des objets dans les modèles BIM par les concepteurs entrave le développement du BIM 5D (Stanley & Thurnell, 2014). Selon Harrison et Thurnell (2014) si les consultants en coûts continuent de dire aux concepteurs ce qu'ils doivent inclure dans leurs modèles BIM, ils pourraient éventuellement décourager les concepteurs de travailler avec eux; un codage standard est donc nécessaire pour assurer la cohérence et gérer suffisamment le processus.

Le temps parfois long passé à examiner / vérifier les quantités : Le temps requis pour vérifier les quantités générées ou extraites automatiquement du modèle BIM, lorsque le modèle est mal fait ou que le processus d'extraction de quantités n'est pas optimisé, fait que le BIM

5D n'est pas beaucoup plus rapide que les extractions manuelles (Stanley & Thurnell, 2014). Il reste encore beaucoup de contrôle en masse à effectuer à cause du manque d'informations complètes et précises dans les modèles. Du fait de ce manque d'informations dans le modèle, il peut arriver que les quantités extraites du modèle soit différentes de celles obtenues avec les méthodes de quantification traditionnelles.

3. Méthodologie et profil des participants

3.1 Étapes de la recherche

3.1.1 Étude préalable : recherche documentaire

Cette étape consiste à faire la collecte, l'analyse et le résumé de la littérature relative au sujet de recherche et construction d'un cadre théorique dérivé d'études précédentes. Il s'agit ici de lectures réfléchies. Il n'est pas nécessaire de tout lire sur le sujet, mais de « cibler des documents proposant des approches diversifiées par rapport à l'objet de recherche et ne pas se lancer dans une « boulimie » livresque qui pourrait décourager » (Lugen, s.d.) La validité des ouvrages lus est également importante. Pour cela, nous avons principalement utilisé des articles de revue, des articles issus des bibliothèques scientifiques et des livres publiés pour bâtir notre revue de littérature.

3.1.2 Pré-enquête

Au terme de la revue de littérature, un certain nombre de questions ressortent. La pré-enquête fournit des idées concrètes, grâce aux réponses des quelques personnes interviewées de façon très ouverte sur le thème général. Dans le cadre de notre projet, nous avons eu une entrevue avec des professionnels de l'industrie qui ont des connaissances poussées sur le sujet. Il s'agit du directeur et d'une gestionnaire du département d'estimation de l'une des plus grandes entreprises de construction du Québec.

3.1.3 Conception du questionnaire

La conception de notre questionnaire a suivi un certain nombre de règles identifiées par plusieurs auteurs. Jean et Lenoir (2012) mettent l'accent sur la formulation des questions. En effet, selon eux, la pertinence, la clarté et la longueur des questions, la simplicité du vocabulaire, les dangers de formuler des questions ambiguës ou tendancieuses, sources de biais évidents, mais aussi les dangers de contamination entre des questions, constituent des enjeux majeurs.

Duverger (1964) quant à lui insiste sur la nécessité d'un ordonnancement réfléchi et rigoureux des questions. Lefrançois (1992) souligne l'importance « d'agencer les questions suivant la logique du répondant et non celle de l'investigateur. L'idée est d'alléger autant que faire se peut le travail du répondant de façon à maximiser la qualité des informations ». Selon Grawitz (1990), un questionnaire « doit, autant que possible, suivre un ordre logique, plus facile à retenir pour l'enquêteur et moins traumatisant pour le répondant, c'est-à-dire que les questions doivent paraître se suivre naturellement, découler en quelque sorte d'une progression, chacune étant issue de la précédente sans rupture brusque ».

Le questionnaire a fait l'objet d'une évaluation par le comité d'éthique et de la recherche de l'École de Technologie Supérieure et a obtenu l'autorisation d'être administré aux participants.

3.1.4 Pré-test

Le pré-test est une phase très importante qui consiste à soumettre le questionnaire à des individus correspondant à la population cible afin de l'évaluer selon une approche plus qualitative que quantitative. Selon Vilatte (2007), il s'agit d'évaluer « la clarté et la précision des termes utilisés et des questions posées, la forme des questions, l'ordre des questions, l'efficacité de la mise en page, éliminer toutes les questions ambiguës ou refusées, repérer les omissions, voir si le questionnaire est jugé trop long, ennuyeux, indiscret, etc. ».

Dans le cadre de notre étude, nous avons soumis notre questionnaire à un estimateur intermédiaire travaillant dans une grande entreprise de construction et ayant une bonne connaissance du BIM. Il a jugé notre questionnaire clairement compréhensible et bien formulé. Nous avons donc pu passer à la phase de distribution du questionnaire.

3.1.5 Distribution du questionnaire

Notre questionnaire a été ensuite auto-administré par internet, via le logiciel Lime Survey. Le choix de ce moyen de distribution a été fait car il permet non seulement une économie de temps autant pour nous qui avons élaboré le questionnaire que pour les répondants, mais il offre également des possibilités de réduction de biais. Par exemple, il offre la fonctionnalité de poser des conditions sur les questions, dont la nécessité de répondre aux questions avant de pouvoir accéder aux suivantes. Cela a l'avantage d'éliminer le risque d'absence de réponses à certaines questions importantes (Jean & Lenoir, 2012).

Les invitations à répondre au questionnaire ont été envoyées par mail aux participants. Ces invitations contenaient une brève description du questionnaire, son temps de complétion qui

est de 30 minutes et les informations relatives à sa confidentialité et son anonymat. 42 invitations ont été envoyées et nous avons eu 15 participations complètes et 2 participations partielles, soit un total de 17 participations. Le questionnaire a été lancé le 26 octobre 2019 et fermé le 18 février 2020.

3.2 Structure du questionnaire

Le questionnaire comporte 33 questions réparties en 6 grandes sections :

Consentement du participant : Dans cette section nous présentons brièvement le sujet, les modalités de participation au questionnaire, ainsi que la politique de confidentialité afin que le participant consente ou non à participer en connaissance de cause.

Informations générales sur le participant : Cette section a pour but de déterminer le profil du participant : la taille de l'entreprise dans laquelle il/elle travaille, son expérience, son domaine d'activité. Le questionnaire est entièrement confidentiel, aucune information permettant d'identifier les participant n'est demandée.

Connaissances et expérience en BIM : Il s'agit ici de déterminer le niveau de connaissance du participant et son expérience en matière de BIM. Cette section est une section éliminatoire qui permet notamment d'éliminer les biais sur les prochaines sections, car si le participant répond ne pas connaître le BIM, le questionnaire s'arrête là pour lui.

Pratiques actuelles en matière de BIM pour la gestion de coûts : Les participants ayant répondu connaître le BIM sont interrogés dans cette section sur les différentes utilisations qu'ils en font pour la gestion des coûts. Les questions de cette partie ont été élaborées suivant les pratiques que nous avons identifiées dans la littérature et présentées dans notre revue de littérature. Les participants qui répondent ne pas utiliser le BIM pour la gestion des coûts sont dirigés vers la section perspectives.

Avantages et enjeux de l'implémentation du BIM 5D : Cette section comprend des questions fermées où il était demandé aux répondants d'évaluer les déclarations relatives aux avantages et aux enjeux du BIM 5D en utilisant une échelle sémantique à 5 points, dans laquelle : 1 = totalement en désaccord, à 5 = totalement d'accord. Des questions ouvertes ont également été posées dans le but de permettre aux participants de s'exprimer sur les avantages et enjeux qu'ils perçoivent et que nous n'aurions pas identifiés. Pour faciliter la compréhension des questions relatives aux enjeux de l'implémentation du BIM 5D, celles-ci

ont été regroupées en 3 sous-groupes comme présenté dans notre revue de littérature : les enjeux d'ordre technologique, d'ordre organisationnel et d'ordre procédural.

Perspectives : Cette section concerne les participants qui ont répondu connaître le BIM mais ne pas l'utiliser pour la gestion des coûts. Elle avait pour but de comprendre les raisons pour lesquelles ils n'utilisent pas encore le BIM 5D, d'évaluer à quel niveau d'adoption leur entreprise en était (prospection de logiciels BIM 5D par exemple), et quelles sont leurs perspectives pour les prochaines années.

3.3 Profil des répondants

Sur les 42 invitations que nous avons envoyées, nous avons obtenu 15 participations complètes et 2 participations partielles, soit un total de 17 participations et un taux de participation de 40,5%.

Les participants à notre étude sont majoritairement dans le domaine de l'estimation (65%) comme illustré à la Figure 2 ce qui est tout à fait normal vu que notre public cible était les professionnels de la construction ayant des connaissances en gestion de coûts BIM. Ensuite nous avons les planificateurs (53%), les consultants (29%), les concepteurs (24%), et enfin les autres (29%) : Aménagement, BIM, Support et gestion.

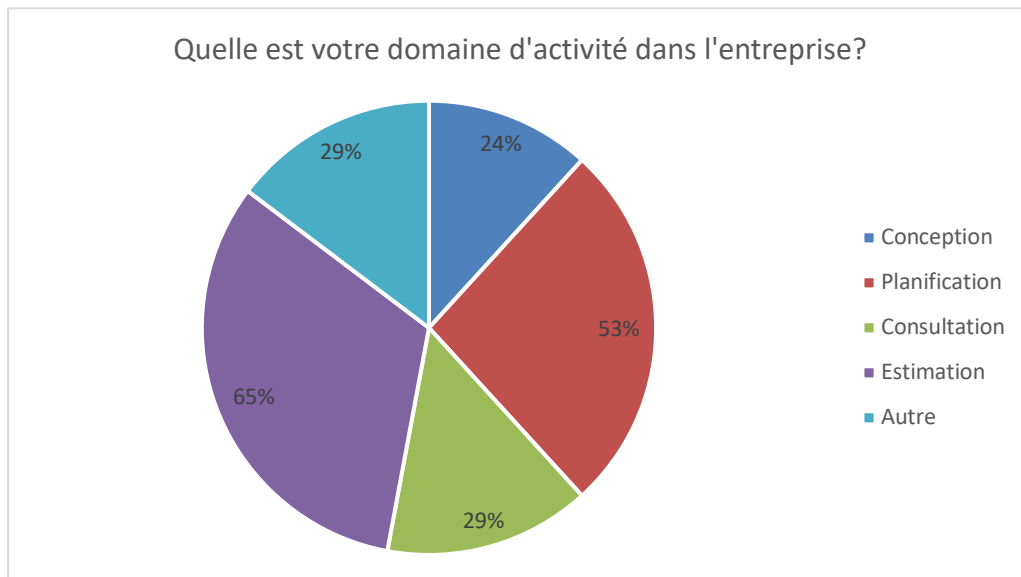


Figure 2 : Domaines d'activité des participants

Les participants travaillent majoritairement (41%) pour les grandes entreprises (plus de 100 employés) comme le montre la Figure 3. 29% travaillent pour les moyennes entreprises, 18% pour les petites entreprises et 12% pour les micros entreprises. Ceci peut s'expliquer par le fait que les grandes entreprises ont plus de ressources et sont plus ouvertes à l'implémentation de nouvelles technologies telles que le BIM.

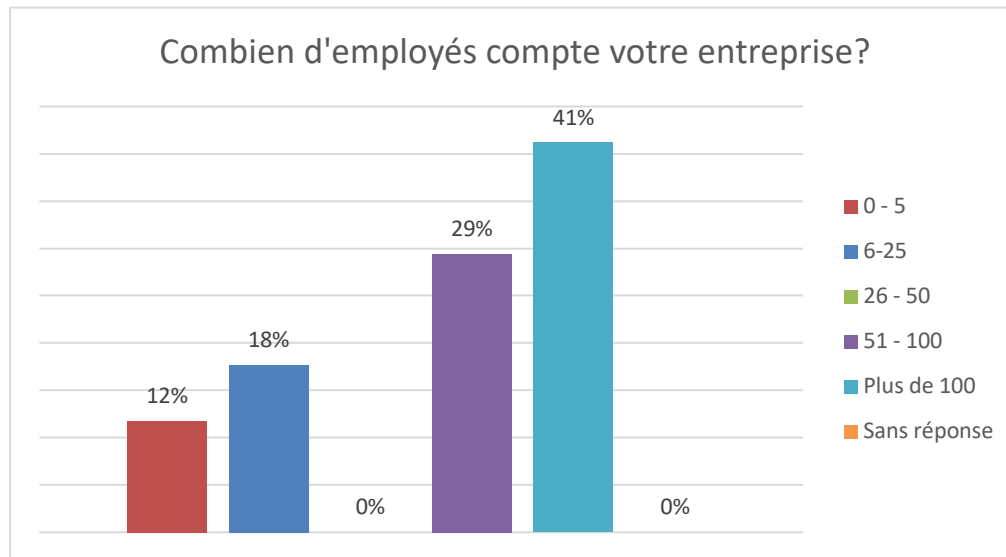


Figure 3 : Taille de l'entreprise

Tous les participants ont affirmé connaître le BIM, la connaissance du BIM étant un critère d'inclusion principal de notre enquête, ce résultat était tout à fait attendu. Cependant trois d'entre eux (18%) travaillent actuellement dans des entreprises où le BIM n'est pas utilisé. 41% des participants ont au moins 15 années d'expérience, 24% ont moins de 5 ans, 18% ont entre 5 et 9 ans et 18% également ont entre 10 et 15 ans. Ces résultats tendent à démontrer que contrairement à ce que l'on pourrait penser, les professionnels les plus expérimentés s'intéressent autant aux nouvelles technologies tel que le BIM 5D que les moins expérimentés. Les résultats montrent que sur les 82% des entreprises utilisant le BIM, 50% l'utilisent depuis plus de 5 ans, 21,43% l'utilisent depuis 3 à 5 ans, 21,43% l'utilisent depuis 1 à 2 ans, et seulement 7,14% depuis moins d'un an (Figure 4). Une analyse du profil des répondants montre que ce sont les grandes et moyennes entreprises qui utilisent le BIM depuis au moins 3 ans, tandis que les petites et micros entreprises l'utilisent depuis 2 ans ou moins. Cette tendance peut aisément s'expliquer par le fait que les grandes et moyennes entreprises ont plus de ressources pour la mise en œuvre du BIM, les coûts des logiciels, de la formation et de l'infrastructure informatique étant perçus comme principaux obstacles à l'adoption du BIM par les entreprises (Tahrani et al., 2015).

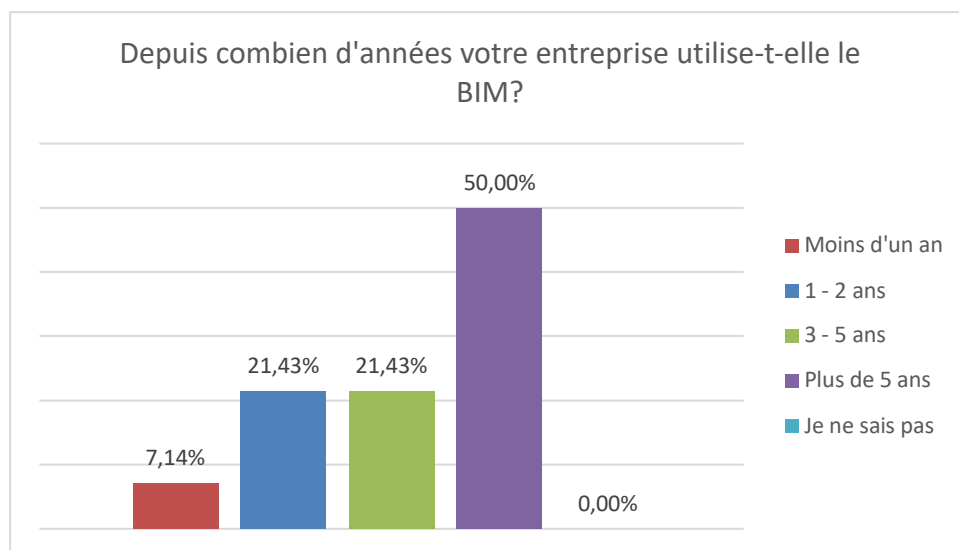


Figure 4 : Nombre d'années d'utilisation du BIM

21,43% des répondants ont répondu que leurs entreprises respectives ont utilisé le BIM sur plus de 50 projets. Tous travaillent pour des grandes entreprises. 21,43% ont utilisé le BIM sur 26 à 50 projets, 28,57% sur 6 à 25 projets et 21,43% sur 0 à 5 projets.

4. Pratiques et enjeux liés au BIM 5D dans l'industrie québécoise de la construction

Sur les 14 entreprises ayant répondu utiliser les BIM, cinq (5) ont répondu ne pas l'utiliser pour la gestion des coûts (BIM 5D) soit 35,71%. Une analyse approfondie a permis de ressortir que sur ces cinq entreprises, trois (3) sont de grandes entreprises et deux (2) sont des entreprises moyennes. Ces chiffres tendent à signifier que les grandes et moyennes entreprises sont plus réfractaires à l'utilisation du BIM 5D ce qui est assez contradictoire car elles ont les ressources nécessaires pour son implémentation, ce qui indique que des enjeux autres que les coûts de configuration en sont la cause.

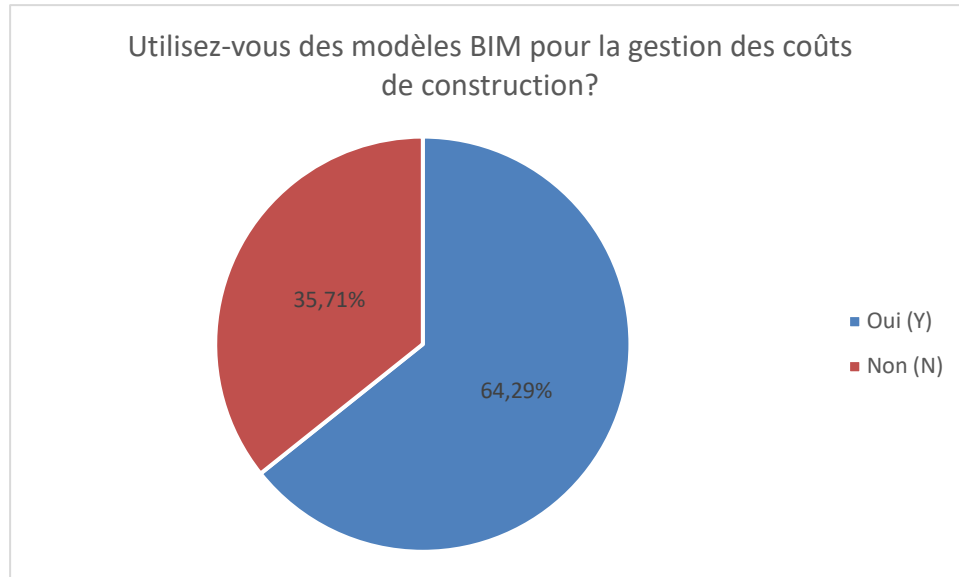


Figure 5 : Taux d'implémentation du BIM 5D

Le BIM est principalement utilisé pour l'estimation des coûts (88,89%), ensuite pour la détermination du budget (77,78%), pour le contrôle des coûts (66,67%) et enfin pour les réclamations (22,22%) comme l'illustre la Figure 6

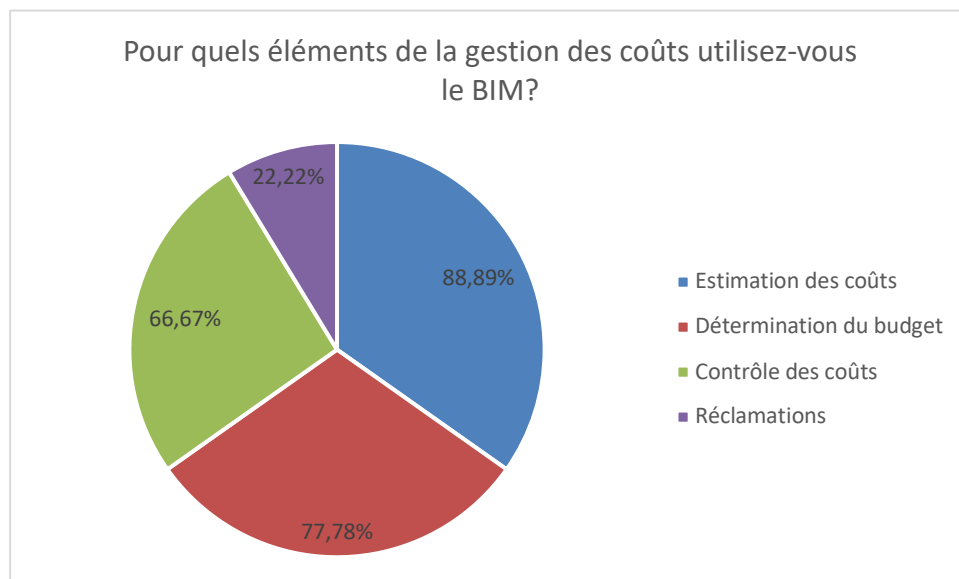


Figure 6 : Éléments de la gestion des coûts pour lesquels le BIM est utilisé

Les usages du BIM pour chacun de ces éléments sont détaillés dans la suite du rapport.

4.1 Usages du BIM pour la gestion des coûts

4.1.1 Utilisation du BIM pour l'estimation des coûts

En matière d'estimation des coûts, les participants faisant du BIM 5D ont tous répondu utiliser le BIM pour l'export des données sous différents formats (Figure 7). 87,5% d'entre eux ont répondu l'utiliser pour des échanges de données d'un logiciel à un autre. Ces fonctionnalités sont essentielles pour les estimateurs sachant que dans la pratique, la « liaison en temps réel » des modèles avec des plateformes d'estimation est utilisée (Thurairajah & Goucher, 2013) et que divers logiciels sont utilisés. 75% des participants ont répondu utiliser le BIM pour l'identification des changements et pour la mise à jour à temps réel des informations de coûts, ceci est rendu possible car le BIM permet d'obtenir en temps réel les nouvelles quantités du modèle lorsque celui-ci est modifié et de superposer l'ancien modèle au modèle actualisé et ainsi en ressortir les changements.

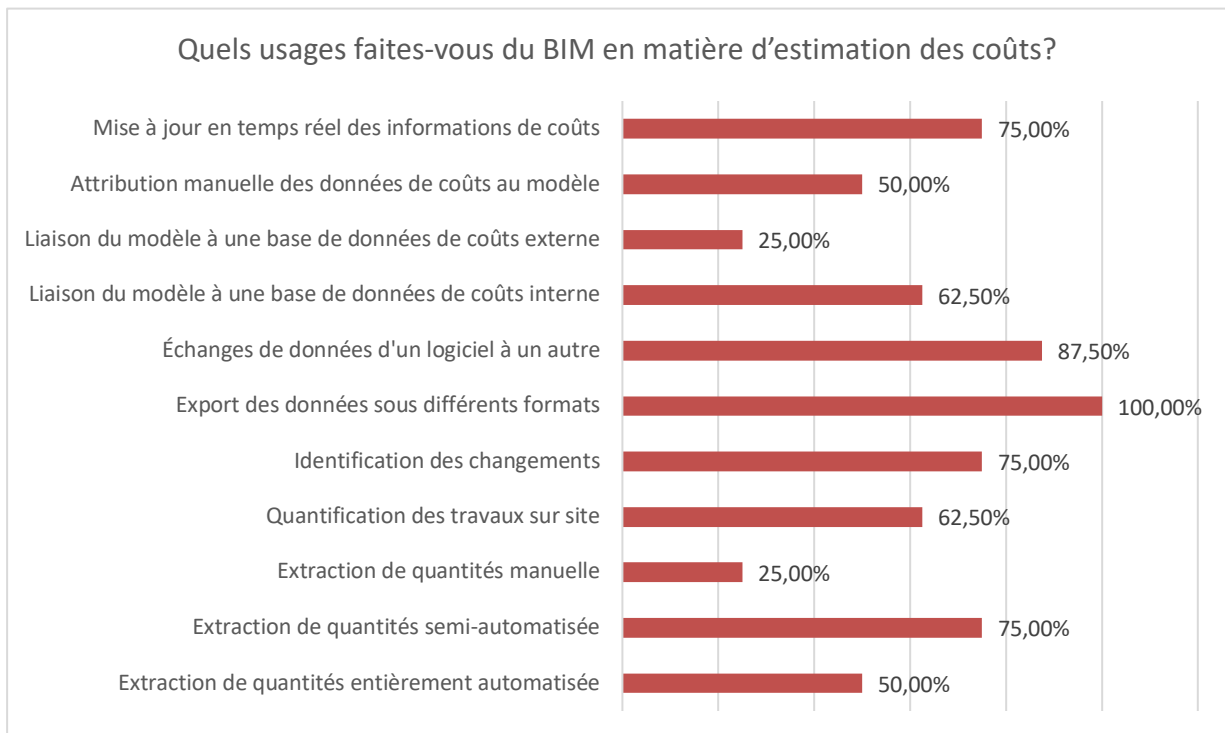


Figure 7 : Usages du BIM 5D pour l'estimation de coûts

En matière d'extraction des quantités, 75% des participants ont répondu utiliser l'extraction semi-automatisée, 50% utilisent l'extraction entièrement automatisée et 25% utilisent l'extraction manuelle. Le taux élevé des extractions semi-automatisées s'expliquent par le fait que les modèles BIM ne contiennent généralement pas toutes les informations nécessaires pour produire une extraction complète des quantités au clic d'un bouton (Vigneault et al., 2019)

car des éléments du modèle sont souvent mal modélisés ou alors pas du tout. Il est donc très souvent nécessaire que les estimateurs doivent compléter manuellement certaines quantités.

75% des participants utilisent des bases de données de coûts internes pour lier les modèles, contre 25% qui utilisent des bases de données externes. Ces chiffres sont justifiés sachant que les bases de données internes ont l'avantage que toutes les informations pertinentes sont stockées au même endroit (Samphaongoen, 2010), les données peuvent donc être appliquées aux projets et mises à jour selon les besoins en important des informations actualisées. Cependant 50% des participants déclarent attribuer manuellement les données de coûts au modèle plutôt que de lier le modèle avec une base de données de coûts. 62,5% des participants utilisent également le BIM pour la quantification des travaux sur site.

4.1.2 Usages du BIM pour la détermination du budget

Les usages du BIM pour la détermination de budget sont présentés à la Figure 8.

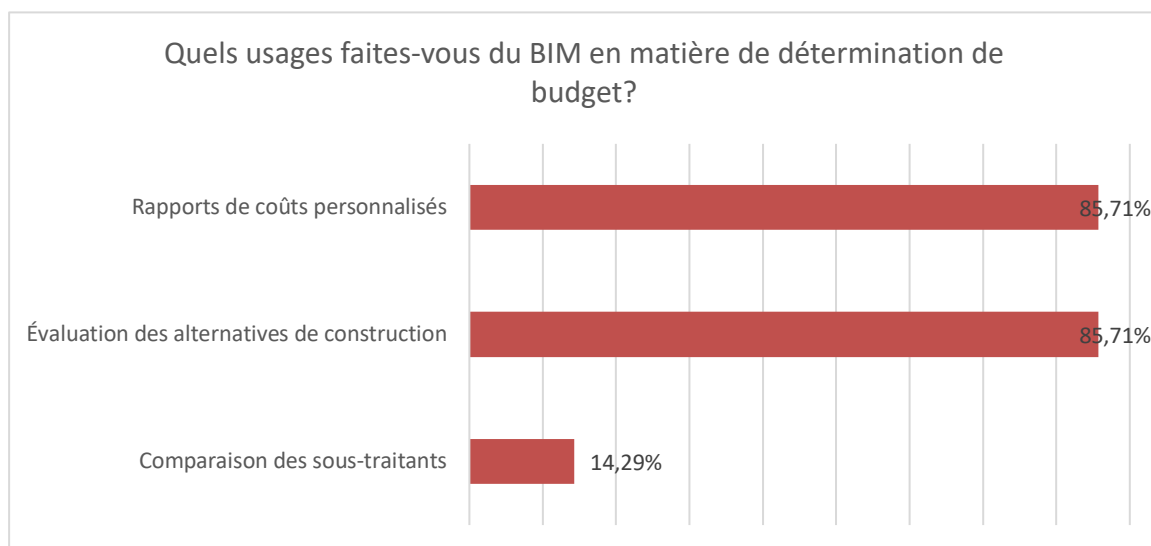


Figure 8 : Usages du BIM 5D pour la détermination de budget

En matière de détermination de budget, 85,71% des participants déclarent utiliser le BIM pour la production de rapport de coûts personnalisés. Ceci peut s'expliquer par le fait que le budget est un élément décisionnel important pour les projets et par conséquent, la manière dont les coûts sont représentés aux clients est très importante.

85,71% des participants déclarent utiliser le BIM pour évaluer les alternatives de construction. En effet, la liaison du modèle à la base de données de coûts permet d'évaluer rapidement plusieurs alternatives en termes de coûts et de ressources (Popov et al., 2010).

Un seul participant sur les sept utilisant le BIM pour la détermination de budget a répondu l'utiliser pour comparer les sous-traitants.

4.1.3 Usages du BIM pour le contrôle des coûts

Les usages du BIM pour le contrôle des coûts sont présentés à la Figure 9.

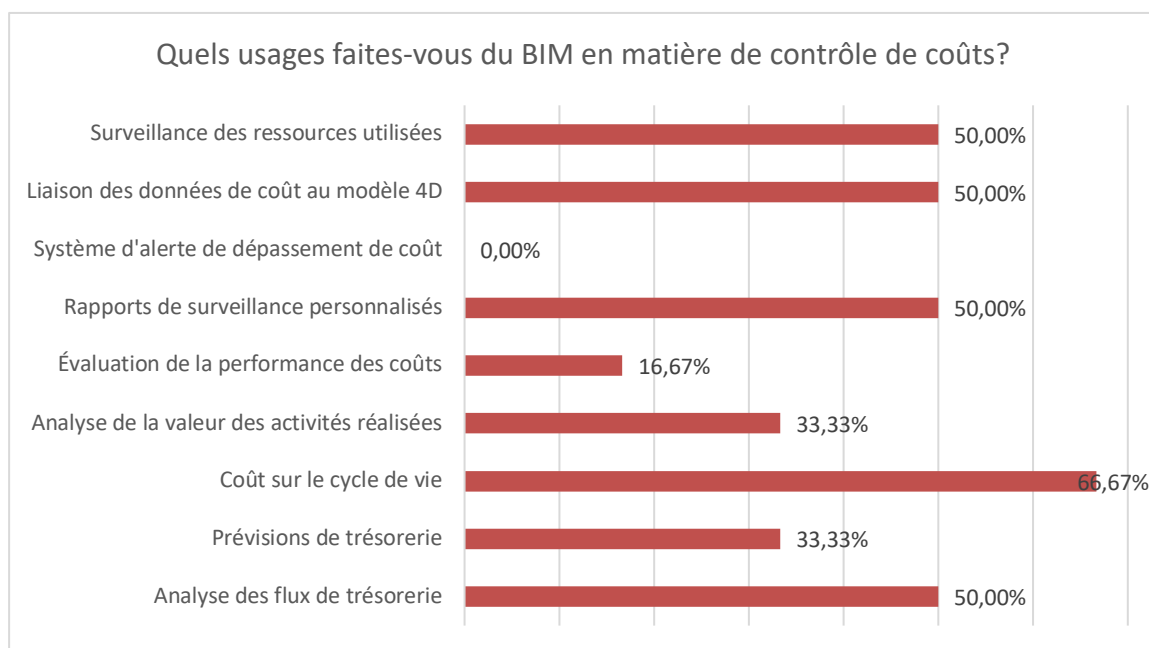


Figure 9 : Usages du BIM 5D pour le contrôle de coûts

Le principal usage du BIM pour le contrôle de coûts selon les participants à notre enquête est l'analyse du coût sur le cycle de vie (66,67%). Le suivi du modèle tout au long du projet permet de garder en vue les réelles dépenses effectuées et de prévoir celles qu'il reste à effectuer avec la possibilité de faire des simulations de cas et d'en estimer les coûts.

50% des participants déclarent lier les données de coûts au modèle 4D et l'utiliser pour l'analyse des flux de trésorerie. 33% déclarent l'utiliser pour les prévisions de trésorerie et pour analyser la valeur des activités réalisées. En effet, le BIM 5D a la capacité d'optimiser la précision et la rapidité des analyses des flux de trésoreries, et de faire une évaluation rapide des coûts à date

en isolant simplement les éléments complétés du modèle et en les divisant par transaction (Mitchell, 2013).

50% des participants déclarent utiliser le BIM 5D pour la production de rapports personnalisés, la façon dont les rapports sont présentés est effectivement très importantes pour présenter les résultats d'avancement aux parties prenantes et varie d'une équipe de projet à une autre.

Seul un participant a déclaré utiliser le BIM pour l'évaluation des performances de coûts.

4.1.4 Usages du BIM pour la gestion des réclamations

Les usages du BIM pour les réclamations sont présentés à la Figure 10.

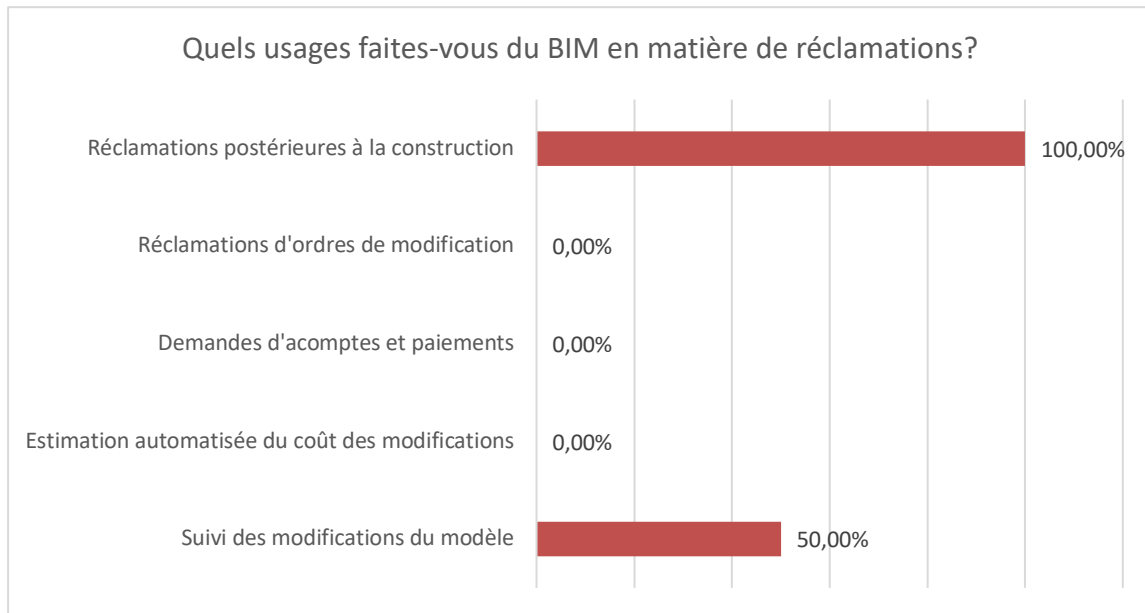


Figure 10 : Usages du BIM 5D pour les réclamations

Les deux participants ayant répondu utiliser le BIM pour les réclamations déclarent l'utiliser pour les réclamations postérieures à la construction. En effet le BIM permet de suivre et d'évaluer rapidement et facilement les changements apportés lors de la construction en comparant les modèles tels que construits (*as-built*) et tels que conçus (*as-design*), ce qui permet de mieux gérer les réclamations une fois la construction terminée.

Cependant un des participants déclare ne pas suivre les modifications du modèle, ce qui pourrait signifier qu'il utilise une méthode différente pour quantifier les variations et gérer les réclamations post-construction.

4.1.5 Les logiciels utilisés

Pour chaque élément de la gestion des coûts, les participants devaient spécifier quels outils BIM 5D ils utilisent. Les résultats sont résumés à la Figure 11.

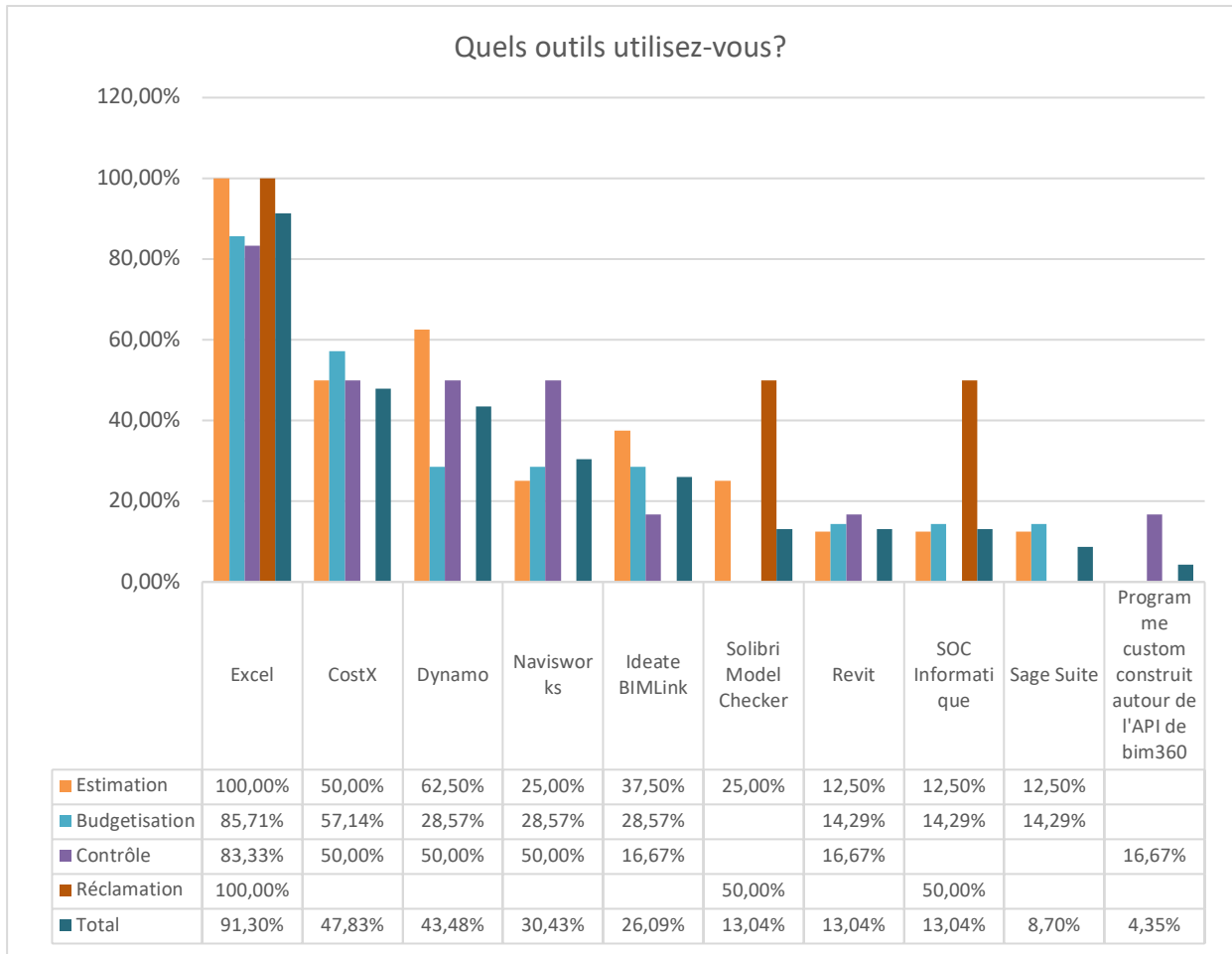


Figure 11 : Outils BIM 5D utilisés

Les trois outils les plus utilisés sont Excel, CostX et Dynamo. Bien que Excel ne soit pas à proprement parler un logiciel d'estimation BIM 5D, il reste l'outil le plus utilisé par les participants peu importe l'élément de gestion de coûts. Ensuite vient CostX qui est le deuxième outil le plus utilisé pour la budgétisation, troisième pour l'estimation et deuxième avec Dynamo et Navisworks pour le contrôle. Dynamo est le troisième outil le plus utilisé, il est deuxième pour l'estimation, troisième exæquo pour la budgétisation et deuxième pour le contrôle.

4.2 Avantages perçus

Les participants devaient évaluer les avantages du BIM 5D en utilisant une échelle sémantique à 5 points (1 = totalement en désaccord, à 5 = totalement d'accord). Une analyse permet d'attribuer des notes sur 5 à chaque avantage et ainsi de faire un classement afin de ressortir les avantages les plus perçus par les professionnels. Les résultats sont consignés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Avantages du BIM 5D

[NB : 1=totalement en désaccord, 5=totalement d'accord]		1	2	3	4	5	Moy. sur 5
A.1	L'estimation est améliorée grâce à la possibilité de modéliser les options de projet avant et pendant la construction.				1	6	4,9
A.2	La visualisation des projets est augmentée, ce qui réduit les erreurs d'interprétation des dessins et améliore la prise de décision.		1			7	4,6
A.3	La collaboration, la communication et le partage d'information entre les équipes de projet est améliorée.			1	2	5	4,5
A.4	Le BIM 5D fournit un avantage commercial sur les concurrents.				4	4	4,5
A.5	L'identification des risques se fait plus tôt : la détection des conflits potentiels est améliorée, à un stade plus précoce qu'avec les approches traditionnelles.			1	3	4	4,4
A.6	Les modifications de conception peuvent être identifiées plus facilement et rapidement en superposant les modèles BIM précédents aux modèles BIM révisés.			1	3	4	4,4
A.7	La capacité de résoudre les demandes d'informations en temps réel			1	3	4	4,4
A.8	La conceptualisation du projet est facilitée : la 3D facilite la détermination du coût des options de conception au début de la phase de conception.			2	2	4	4,3
A.9	Le BIM 5D permet des estimations préliminaires plus efficaces (par génération automatique de quantités à partir des objets du modèle BIM).	1	1		1	5	4,0
A.10	Le BIM 5D permet des estimations détaillées plus efficace (par génération automatique de quantités à partir des objets du modèle BIM).		1	1	3	3	4,0
A.11	Les détails des devis quantitatifs de construction préliminaires fournis reflètent plus précisément l'étendue des travaux impliqués.			3	2	3	4,0
A.12	La génération automatique de quantités permet de passer plus de temps sur d'autres services de gestion de coûts pour le client (par exemple, conseil en coût sur davantage de variantes de conception)		1	2		4	4,0
A.13	Le BIM 5D permet une production plus efficace des devis quantitatifs (par génération automatique de quantités à partir des objets du modèle BIM).	1		1	2	3	3,9

Les participants sont tous unanimes sur le fait que le BIM 5D permet de produire de meilleure estimation grâce à la possibilité de modéliser les options de projet avant et pendant la construction. Olatunji et al (2010) suggèrent que le BIM permet aux économistes de la construction d'identifier les facteurs qui ont un avantage économique ou une conséquence sur diverses options de conception afin de sélectionner la proposition la plus appropriée et rentable. En outre, les conseils en matière de conception préliminaire « devraient accroître la satisfaction des clients, car ils reçoivent des informations économiques plus tôt sur les alternatives disponibles » (Thurairajah & Goucher, 2013).

Le deuxième avantage le plus perçu est la visualisation améliorée des projets réduisant les erreurs d'interprétation bien qu'un participant ne fût pas de cet avis. Ceci est possible car le bâtiment peut être visualisé de n'importe quelle perspective en 3D (Thurairajah & Goucher, 2013). Cela va dans la même lancée que Sabol (2008), qui a suggéré que le BIM 5D permet de mieux comprendre les composants de la construction, ce qui réduit les risques d'oubli ou d'interprétation erronée d'éléments de construction essentiels. Ils s'accordent également sur le fait que le BIM 5D améliore la collaboration entre les équipes de projet, fournit un avantage commercial sur les concurrents et permet une identification des risques se fait plus tôt. Le BIM 5D est perçu comme un moyen de renforcer la collaboration sur les projets, car les personnes doivent travailler ensemble pour rendre les modèles efficaces (Stanley & Thurnell, 2014). Il permet d'analyser les risques plus tôt et d'en déduire d'autres options de construction (Sabol, 2008). En trouvant les problèmes tôt grâce au clash detection, il peut être possible d'économiser du temps et de l'argent (Stanley & Thurnell, 2014).

Les participants ont convenu que la conceptualisation du projet est facilitée grâce au BIM 5D. En effet, Le BIM permet l'implication des estimateurs dans la conception plus tôt par rapport aux projets traditionnels, ce qui permet à l'équipe de conception de proposer davantage d'options de conception, et aux estimateurs de « conseiller rapidement et efficacement l'équipe de conception et le client sur le coût de chaque option de manière à permettre une comparaison directe » (Boon & Prigg, 2012). Des participants de l'enquête de Stanley et Thurnell (2014) ont affirmé que le BIM pouvait être utilisé au stade de la conception pour influencer le projet, et qu'il facilitait l'obtention de l'acceptation du client, car il était capable de voir la conception rapidement. Boon (2009) va dans la même lancée en affirmant que le BIM est utilisé au stade de l'appel d'offres pour montrer aux clients des images du processus de construction.

Deux participants ont exprimé leur désaccord quant au fait que le BIM 5D permet des estimations préliminaires plus efficaces. Ceux-ci sont du même avis que les participants à l'enquête menée par Harrison et Thurnell (2014) qui estiment qu'au stade préliminaire, la conception est peu développée et précise. Il est essentiel que l'économiste de la construction identifie les éléments manquants dans le modèle au moment de l'extraction (Boon & Prigg, 2012).

Une étude quantitative a révélé que même lorsque des estimateurs relativement inexpérimentés produisaient des estimations détaillées, la méthode 5D était plus efficace que celle des méthodes d'estimation 2D traditionnelles, notamment en réduisant les erreurs et les délais (Shen & Issa, 2010). Cependant pour Harrison et Thurnell (2014) cela serait valable uniquement pour certains éléments de bâtiment; une vérification en masse approfondie et l'identification des articles manquants sont impératives pour s'assurer que les quantités sont correctes, et des ajustements manuels sont souvent nécessaires.

Un participant n'était pas d'accord sur le fait que le BIM 5D permet une production plus efficace des devis quantitatifs. En effet, bien que la capacité du BIM 5D à générer automatiquement des quantités accélère le processus de production des devis quantitatifs, comme pour l'estimation détaillée, seuls certains éléments de construction peuvent être mesurés et seule une faible efficacité est obtenue à cause de la vérification en masse qui est nécessaire pour s'assurer que les quantités sont correctes et pour identifier les éléments manquants dans le modèle (Harrison & Thurnell, 2014).

4.3 Enjeux de l'implémentation du BIM 5D

Les participants devaient évaluer les enjeux de l'implémentation du BIM 5D en utilisant une échelle sémantique à 5 points, dans laquelle : 1 = totalement en désaccord et 5 = totalement d'accord. Une analyse simple nous a permis d'attribuer des notes sur 5 à chaque avantage et ainsi de faire un classement afin de ressortir les enjeux les plus perçus par les professionnels.

4.3.1 Enjeux d'ordre technologique

Les résultats des enjeux d'ordre technologique sont consignés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Enjeux d'ordre technologique

[NB : 1=totalement en désaccord, 5=totalement d'accord]		1	2	3	4	5	Moy. sur 5
E.1	Manque de compatibilité logicielle			3	3	2	3,9
E.2	Absence de normes électroniques pour coder les logiciels BIM selon les méthodes standard de mesure			3	4	1	3,8
E.3	Complexité des logiciels d'estimation BIM		1	4	1	2	3,5

Cinq participants sur huit sont entièrement d'accord sur le fait que le manque de compatibilité logicielle est le principal enjeu d'ordre technologique de l'implémentation du BIM 5D. Cela rejoint Olatunji (2011) et Stanley et Thurnell (2014) qui affirment que le manque de

d'interopérabilité est un obstacle majeur à la mise en œuvre du BIM 5D. L'utilisation des fichiers de type IFC est une option pour pallier ce problème, bien qu'il existe toujours des problèmes de compatibilité associés aux fichiers de type IFC que l'industrie tente actuellement de résoudre (Thurairajah & Goucher 2013). L'absence des normes électroniques pour coder les logiciels BIM selon les méthodes standard est également perçue comme un enjeu de l'implémentation du BIM 5D. Selon Stanley et Thurnell (2014), un standard commun de codage électronique des logiciels BIM doit être mis en place pour s'assurer que les quantités extraites comprennent suffisamment les méthodes et les procédures de construction afin d'avoir des estimations plus précises.

Tandis que quatre participants sont neutres quant à la complexité des logiciels d'estimation BIM, trois sont d'accord et un n'est pas d'accord. Cette équivoque indique que la complexité des logiciels n'est pas forcément un enjeu de l'implémentation du BIM 5D, la perception de la complexité d'un logiciel étant subjective et dépendant de plusieurs facteurs (facilité d'apprentissage, expérience, motivation...).

4.3.2 Enjeux d'ordre organisationnel

Les résultats des enjeux d'ordre organisationnel sont consignés dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Enjeux d'ordre organisationnel

[NB : 1=totalement en désaccord, 5=totalement d'accord]		1	2	3	4	5	Moy. sur 5
E.1	Résistance culturelle dans les entreprises			2	2	4	4,3
E.2	Coûts de configuration élevés (coûts de logiciel, de formation et de matériel)			2	5	1	3,9
E.3	Absence d'intervention directe du gouvernement pour la mise en place de normes / protocoles BIM (par exemple, la normalisation de l'utilisation des IFC, etc.).		1	2	2	3	3,9
E.4	Certaines entreprises estiment que leurs logiciels actuels répondent à leurs besoins, et ne voient donc pas la nécessité de changer.		1	2	3	2	3,8
E.5	Manque d'études de cas et d'analyses avantages-coûts pour démontrer les avantages du BIM 5D		1	3	2	2	3,6
E.6	Exposition accrue aux risques, par exemple pour les questions juridiques telles que la propriété des modèles BIM : manque de réforme contractuelle pour encourager la collaboration et l'innovation.		1	2	5		3,5
E.7	Manque de demande de la part des clients et donneurs d'ouvrages		1	4	2	1	3,4

Le principal enjeu organisationnel selon les participants est la résistance culturelle dans les entreprises. De plus, les participants s'accordent également sur le fait que certaines entreprises estiment que leurs logiciels actuels répondent à leurs besoins, et ne voient donc pas la nécessité de changer. Ce qui va dans la même lancée que Stanley et Thurnell (2014). Les participants s'accordent également sur le fait que les coûts élevés d'acquisition et de configuration empêchent les entreprises de mettre en œuvre le BIM 5D. Ceci est d'autant plus vrai pour les PME. Un seul participant est en désaccord sur le fait que l'absence d'intervention directe du gouvernement pour la mise en place de normes / protocoles BIM est un enjeu de l'implémentation du BIM 5D. Cela rejoint Masterspec (2012) qui a signalé qu'un manque d'intervention gouvernementale limitait actuellement la mise en œuvre de la BIM.

Le manque d'études de cas et d'analyses avantages-coûts pour démontrer les avantages du BIM 5D a également été mentionné. En effet de telles études et analyses seraient un incitatif fort pour convaincre les professionnels réticents à adopter le BIM 5D que celui-ci serait bénéfique pour leurs organisations. L'exposition accrue à des risques de type contractuel est également perçue comme un enjeu de l'implémentation du BIM 5D selon les participants. Ce qui est le cas de Foster (cité par Harrison et Thurnell, 2014), Boon (2009) et Klein (cité par Stanley et Thurnell, 2014) qui adressent la nécessité de la mise en place d'un cadre contractuel pour soutenir la collaboration dans les projets BIM.

Les participants sont plutôt neutres sur le fait que le manque de demande de la part des clients et donneurs d'ouvrages est un obstacle à l'implémentation du BIM dans leurs entreprises. Bien que selon Hasan et Rasheed (2019), l'acceptation du BIM serait éventuellement accrue par les demandes des clients ou par l'intervention du gouvernement.

4.3.3 Enjeux d'ordre procédural

Les résultats des enjeux d'ordre procédural sont consignés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Enjeux d'ordre procédural

[NB : 1=totalement en désaccord, 5=totalement d'accord]		1	2	3	4	5	Note sur 5
E.1	Modèles non fournis par les concepteurs			3	1	4	4,1
E.2	Manque d'informations de qualité dans les modèles, éléments mal ou non modélisés			3	2	3	4,0
E.3	Le manque d'intégration dans le modèle diminue la fiabilité et l'efficacité du BIM 5D (les concepteurs Arch./Ing./MEP ne travaillent pas tous sur le même modèle).		1	1	4	2	3,9
E.4	L'absence de protocoles de codage des objets dans les modèles BIM par les concepteurs entrave le développement de la modélisation des coûts à l'aide du BIM (par exemple, le manque d'informations complètes sur les spécifications dans les modèles BIM empêche la génération de quantités précises pour l'estimation)		1	3	2	2	3,6
E.5	Incompatibilité avec les formats d'éléments reconnus par le secteur pour la planification des coûts et les méthodes de mesure standard actuelles		1	3	4		3,4
E.6	Résultats différents qu'avec les méthodes de quantification traditionnelles		2	2	4		3,3
E.7	Le temps passé à examiner / vérifier les quantités extraites signifie que le BIM 5D n'est pas beaucoup plus rapide que les extractions de quantités manuelles.	1	1	4			2,5

Les modèles non fournis par les concepteurs sont le principal enjeu d'ordre procédural selon les participants. Suivi par le manque d'informations de qualité et le manque d'intégration dans ceux-ci et l'absence de protocoles de codage des objets dans les modèles BIM par les concepteurs qui entrave le développement de la modélisation des coûts à l'aide du BIM. Tous ces enjeux s'expliquent par la nature fragmentée de l'industrie de la construction qui empêche un cadre collaboratif et où les professionnels ne travaillent pas tous ensemble pour définir quelles informations doivent être incluses dans les modèles afin d'exploiter le plein potentiel de ceux-ci pour la gestion des coûts comme l'expliquent Bylund et Magnusson (2011).

L'incompatibilité de la conception intégrée dans les modèles BIM avec les formats d'éléments reconnus par le secteur pour la planification des coûts et les méthodes de mesure standard actuelles est également perçue comme un enjeu de l'implémentation du BIM par les participants. Il se pose la nécessité de développer de nouveaux systèmes de classification spécialement adapté au BIM tel que le système de classification CBI qui a été créé pour coordonner les sources d'informations telles que les dessins, les spécifications, les quantités, les informations techniques et de recherche et les publications (Masterspec, 2012).

Six participants sur 8 sont d'accord avec le fait que les résultats différents obtenus en utilisant avec le BIM contre les méthodes d'estimation traditionnelles constituent un enjeu de

l'implémentation du BIM 5D. En effet, cette différence de résultats pourrait indiquer un manque de fiabilité des informations extraites du modèle et peu de ce fait être dissuasif pour les professionnels.

Les participants ne sont pas d'accord avec le fait que le temps passé à examiner / vérifier les quantités extraites signifie que le BIM 5D n'est pas beaucoup plus rapide que les extractions de quantités manuelles. Ceci peut être interpréter de deux manières. Soit que malgré le temps passé à vérifier les résultats, le BIM 5D reste tout de même plus rapide que les méthodes d'estimation conventionnelles; soit que le BIM 5D ne demande pas qu'on vérifie les quantités extraites. Étant donné que les questions n'étaient pas ouvertes, les participants n'ont pas eu la possibilité de justifier leur réponse, et par conséquent, on ne peut trancher quant à cet enjeu.

4.4 Perspectives d'utilisation

Quatre participants ont affirmé ne pas utiliser le BIM 5D. À la question de savoir pourquoi, trois d'entre eux ont répondu que c'est à cause des modèles non fournis par les concepteurs ou mal modélisés, ce qui est l'enjeu procédural principal de l'implémentation du BIM 5D (Figure 12). Deux participants ont répondu manquer de ressources et douter de la fiabilité des informations extraites. Un participant est découragé par la complexité des logiciels et des processus et infrastructures BIM 5D. Un autre a affirmé que c'est une prochaine étape de déploiement.

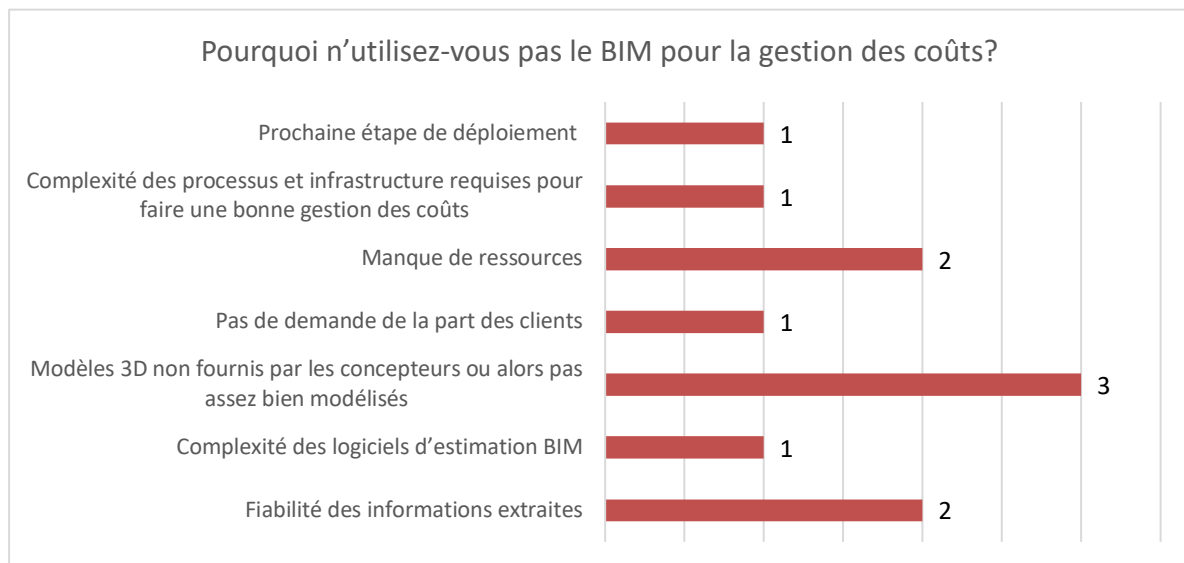


Figure 12 : Raisons de la non-utilisation du BIM 5D par les participants

Sur les quatre non-utilisateurs du BIM 5D, tous ont indiqué vouloir l'utiliser dans un futur proche, sans spécifier quand ils seraient prêts à le faire. Trois ont affirmé avoir déjà adopté des démarches pour la mise en œuvre du BIM 5D dans leur entreprise. Nous avons demandé aux participants qui ont affirmé avoir déjà adopté des démarches pour la mise en œuvre du BIM 5D dans leur entreprise de spécifier celles-ci (Figure 13).

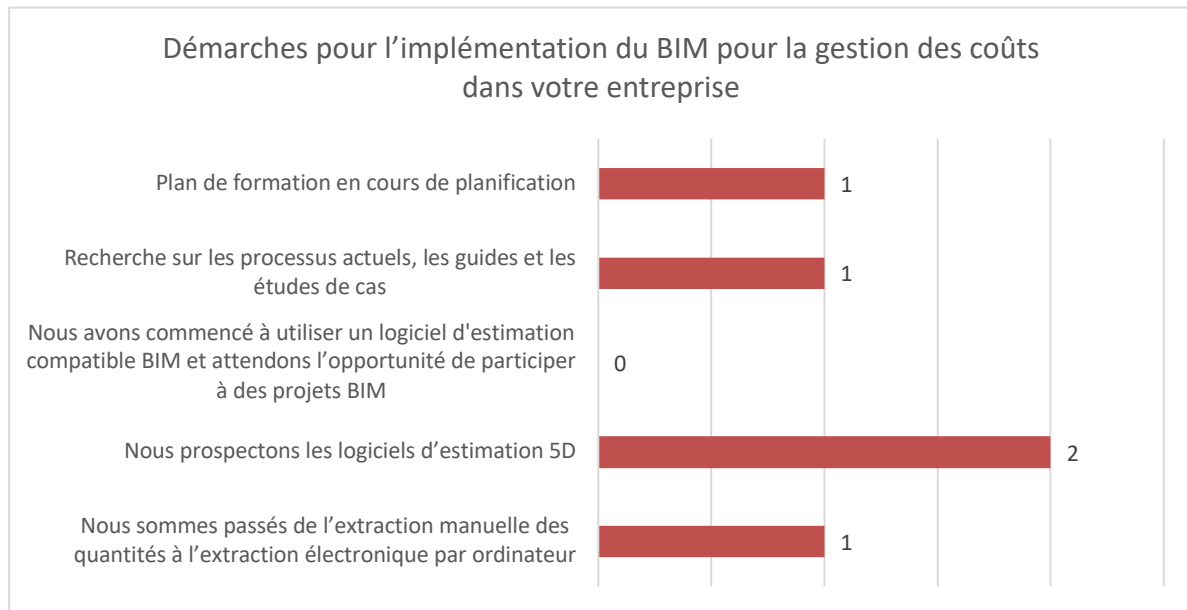


Figure 13 : Démarches adoptées pour l'implémentation du BIM 5D

Deux ont affirmé prospecter les logiciels d'estimation 5D, un autre a répondu être passé de l'extraction manuelle des quantités à l'extraction électronique par ordinateur, un autre a répondu ouvertement être en phase de recherche sur les processus actuels, les guides et les études de cas, un autre a également répondu ouvertement qu'un plan de formation est en cours de planification dans son entreprise.

5. Conclusion

L'objectif de ce projet était de présenter le tableau général de l'implémentation du BIM 5D dans l'industrie de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction au Québec. Plus spécifiquement, il s'agissait de déterminer les pratiques actuelles de gestion de coûts 5D et les logiciels d'estimation BIM utilisés dans l'industrie de la construction, et d'identifier les avantages et les enjeux de l'implémentation BIM 5D.

Il ressort de notre enquête que le BIM 5D est principalement utilisé pour l'estimation des coûts de construction, ensuite pour la budgétisation et le contrôle des coûts, et dans une moindre

mesure pour la gestion des réclamations. L'étude montre que Excel reste le principal outil utilisé, avec d'autres outils tels que CostX, et Dynamo. Ces résultats montrent que l'automatisation de l'estimation est encore loin d'être une réalité. Même si les quantités sont extraites automatiquement des modèles BIM, Excel reste toujours le principal outil pour l'attribution manuelle des coûts à celles-ci et pour la préparation des estimations. Les principaux avantages perçus du BIM 5D se sont avérés être : l'amélioration des estimations grâce à la possibilité de modéliser les options de projet avant et pendant la construction, une meilleure visualisation du bâtiment, l'amélioration de la collaboration entre les équipes de projet et l'octroi d'un avantage commercial sur les concurrents. Cependant, de nombreux enjeux de la mise en œuvre du BIM 5D ressortent de notre étude, les principaux étant : la résistance culturelle dans les entreprises, les modèles non fournis ou mal modélisés, les coûts élevés d'implantation et le manque de compatibilité logicielle.

Même si l'étude donne un aperçu des pratiques dans l'industrie, il est important de souligner que la faible taille de notre échantillon pourrait ne pas nous permettre d'extrapoler les résultats à l'échelle de l'industrie de la construction dans son intégralité. En effet la principale difficulté de notre projet a été d'obtenir des participations à notre enquête, les professionnels étant réticents à y répondre bien que l'anonymat en soit garanti. Néanmoins, les résultats obtenus nous donnent un petit aperçu de comment les professionnels perçoivent le BIM 5D, quels usages ils en font, ses avantages et surtout les pistes à explorer pour promouvoir son utilisation dans l'industrie.

Afin d'avoir des résultats plus représentatifs, nous suggérons de continuer l'étude à plus grande échelle en introduisant des entrevues afin de donner l'occasion aux participants de justifier les notations attribuées aux avantages et enjeux de l'implémentation du BIM 5D.

6. Références bibliographiques

- R. Aish, "Building modelling the key to integrated construction CAD," in Proc. CIB 5th Int. Symp. Use Comput. Environ. Eng. Rel. Buildings, vol. 5, 1986, pp. 7–9. Récupéré sur https://www.researchgate.net/publication/320347623_Building_modelling_the_key_to_integrated_construction_CAD.
- Boon, J. (2009). Preparing for the BIM Revolution. Proceeding of 13th PAQS Congress, (pp. 33-40). Kuala Lumpur.
- Boon, J., & Prigg, C. (2012). Evolution of Quantity Surveying Practice in the Use of BIM – the New Zealand Experience. Proceedings, Joint CIB International Symposium of W055, W065, W089, W118, TG76, TG78, TG81 & TG84, pp. 84-98.

- Boton, C., & Lefebvre, G. (2020). Du BIM au Digital Twin. Sommes-nous prêts pour la 4^e révolution industrielle? Congrès 2020 Confédération des entrepreneurs généraux du Québec. Gatineau, QC.
- Built Environment Innovation and Industry Council. (2010). Productivity In The Buildings Network: Assessing The Impacts Of Building Information Models.
- Bylund, C., & Magnusson, A. (2011). Model Based Cost Estimations - An International Comparison.
- Duverger, M. (1964). *Méthodes des sciences sociales*. Population, 16(4), pp. 775-776.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Flyvbjerg, B., Skamris holm, M. K., & Buhl, S. L. (2003). How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects? *Transport Reviews*, 23:1, pp. 71-88. doi:10.1080/01441640309904
- Grawitz, M. (1990). *Méthodes des sciences sociales* (éd. 8). Paris: Dalloz.
- Harrison, C., & Thurnell, D. (2014). 5D BIM in a consulting quantity surveying environment. Building a Better NZ conference.
- Hasan, A. N., & Rasheed, S. M. (2019). The Benefits of and Challenges to Implement 5D BIM in Construction Industry. *Civil Engineering Journal*, 5(2), pp. 412-421. doi:10.28991/cej-2019-03091255
- Jean, V., & Lenoir, Y. (2012). Les méthodes d'analyse des pratiques d'enseignement: un regard comparatif.
- Khanzode, A., Fischer, M., & Reed, D. (2008). Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (VDC) technologies for coordination of mechanical, electrical, and plumbing (MEP) systems on a large healthcare project. *ITcon Vol. 13*.
- Lefrançois, R. (1992). *Stratégies de recherche en sciences sociales. Applications à la gérontologie*. Montréal: Presses de l'Université de Montréal.
- Lugen, M. (s.d.). *Petit guide de méthodologie de l'enquête*.
- Ma, Z. X., & Yan, G. C. (2014). Analysis on the Problems and Measures to the Construction Project Cost Management. *Advanced Materials Research (Volumes 971-973)*, pp. 2458-2461. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.971-973.2458
- Masterpec. (2012). *New Zealand National BIM Survey 2012*.
- McGraw-Hill Construction. (2012). *The Business Value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis and User Ratings (2007-2012)*.
- Mesároš, P., Smetanková, J., & Mandičák, T. (2019). The Fifth Dimension of BIM – Implementation Survey. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 222. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/222/1/012003

- Mitchell, D. (2013). 5D BIM: Creating Cost Certainty and Better Buildings. Proceedings of the 19th CIB World Building Congress, Brisbane 2013: Construction and Society. Brisbane (Australia): Queensland University of Technology.
- Monteiro, A., & Martins, J. P. (2013). A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design. *Automation in Construction*, 35, pp. 238-253. doi:10.1016/j.autcon.2013.05.005
- National Building Specification. (2018). National BIM Report. Récupéré sur <https://www.thenbs.com/knowledge/the-national-bim-report-2018>
- NIST. (2007). National Building Information Modeling Standard - Version 1.0 - Part 1: Overview, principles and Methodologies. National Institute of Building Sciences. Récupéré sur https://buildinginformationmanagement.files.wordpress.com/2011/06/nbimsv1_p1.pdf
- Olatunji, O. A. (2011). Modelling organizations structural adjustment to BIM adoption: A pilot study on estimating organizations. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 16, pp. 653-668. Récupéré sur <https://www.itcon.org/paper/2011/38>
- Olatunji, O., Sher, W., & Gu, N. (2010). Building information modeling and quantity surveying practice. *Emirates Journal for Engineering Research*, 15(1), pp. 67-70.
- Popov, V., Juocevicius, V., Migilinskas, D., Ustinovichius, L., & Mikalauskas, S. (2010). The use of a virtual building design and construction model for developing an effective project concept in 5D environment. *Automation in Construction*, 19(3), pp. 357-367. doi:10.1016/j.autcon.2009.12.005
- RCIS. (2011). RICS 2011 Building Information Modelling Survey Report.
- Sabol, L. (2008). *Challenges in Cost Estimating*. Washington: Design + Construction Strategies.
- Samphaongoen, P. (2010). *A Visual Approach to Construction Cost Estimating*.
- Shen, Z., & Issa, R. R. (2010). Quantitative evaluation of the BIM-assisted construction detailed cost estimates. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 15, pp. 234-257.
- Smith, P. (2014). BIM & the 5D Project Cost Manager. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, pp. 475 – 484. doi:10.1016/j.sbspro.2014.03.053
- Stanley, R., & Thurnell, D. (2014). The Benefits of, and Barriers to, Implementation of 5D BIM for Quantity Surveying in New Zealand.
- Tahrani, S., Forgues, D., & Poirier, E. (2015). L'adoption du BIM et des approches intégrées au Québec
- Thurairajah, N., & Goucher, D. (2013). Advantages and Challenges of Using BIM: a Cost Consultant's Perspective. 49th ASC Annual International Conference Proceedings. San Luis Obispo, USA.
- Vigneault, M. A., Boton, C., Chong, H. Y., & Cooper Cooke, B. (2019). An Innovative Framework of 5D BIM Solutions for Construction Cost. *Archives of Computational Methods in Engineering*. doi:10.1007/s11831-019-09341-z
- Vilatte, J.-C. (2007). *Méthodologie de l'enquête par questionnaire*. Grisolles.