

Une étude sur l'hybridation des pratiques au sein d'une agence d'architecture : le cas de la coordination multidisciplinaire assistée par le BIM

A study of the hybridization of practices within an architectural firm: the case of BIM-enabled multidisciplinary

Erik A. Poirier^{1,3*}, Flawra Alami^{2,3} et Sébastien Frenette⁴

¹ Professeur, École de technologie supérieure, Montréal, Québec, Canada

² Étudiante à la maîtrise, École de technologie supérieure, Montréal, Québec, Canada

³ Groupe de recherche en intégration et développement durable en environnement bâti (GRIDD)

⁴ Directeur BIM, Provencher_Roy Architectes

Résumé : La coordination multidisciplinaire assistée par le BIM (Building Information Modeling) est l'un des usages les plus répandus dans le domaine de la construction. Malgré sa popularité, l'intégration des technologies permettant la mise en œuvre de cet usage et la reconfiguration des pratiques nécessaires pour bénéficier de celui-ci demeurent difficiles. En effet, la coordination multidisciplinaire BIM, telle que pratiquée actuellement, réplique davantage les processus de coordination traditionnels de façon numérique, qu'elle ne les transforme. Cet article présente une étude de cas de l'implantation d'un processus de coordination multidisciplinaire assisté par le BIM au sein d'une agence d'architecture ayant une expérience considérable en BIM. L'objectif principal de l'étude présentée dans cet article est d'étudier le processus de mise en œuvre des pratiques de coordination multidisciplinaire assisté par le BIM à grande échelle au sein d'une agence d'architecture. Cette recherche a permis d'identifier les composantes, les avantages et les limites ainsi que les fonctionnalités et le soutien nécessaire pour la mise en œuvre de la coordination multidisciplinaire assistée par le BIM au sein de l'agence. En raison de défis considérables de mise en œuvre, l'émergence de pratiques hybrides de coordination multidisciplinaire, un mélange d'approches traditionnelles et BIM, a été constaté, limitant les bénéfices potentiels de l'approche.

Mots-clés : BIM, coordination multidisciplinaire, détection d'interférence, adoption et implantation du BIM, transformation des pratiques en architecture

[Abstract : *BIM-enabled multidisciplinary coordination is one of the most widespread practices in the construction industry. Despite its popularity, integrating the required technologies, and reconfiguring the practices necessary to benefit from it, remains a challenge. As currently practiced, multidisciplinary BIM coordination tends to replicate traditional coordination processes in digital, rather than transform them. This article presents a case study of the implementation of BIM-enabled multidisciplinary coordination within an architectural firm with considerable BIM experience. The objective of the research project is to investigate the implementation of BIM tools and processes aimed at taking full advantage of the potential offered by the centralization of information and the federation of disciplines within a single digital environment. This research identified the components, advantages, and limitations, as well as the functionalities and support required to implement BIM-enabled multidisciplinary coordination within the agency. Due to considerable implementation challenges, the emergence of hybrid multidisciplinary coordination practices, a mix of traditional and BIM approaches, was noted, limiting the potential benefits of the approach.]*

Keywords : BIM, multidisciplinary coordination, clash detection, BIM adoption and implementation, transformation of architectural practices

INTRODUCTION

La transformation numérique du domaine de l'architecture mise en grande partie sur l'adoption et l'implantation de la modélisation des données sur les infrastructures (Building Information Modeling – BIM). Cette transformation est marquée par le passage d'une communication et d'une coordination entre parties prenantes d'un projet sur une base représentationnelle 2D vers un mode orientée objet misant sur la modélisation n-dimensionnelle (nD). À cet effet, la mise en œuvre du BIM au sein des agences d'architecture a fait l'objet de nombreuses recherches qui ont tenté de comprendre les aléas de cette transformation tout en documentant ses opportunités et bénéfices potentielles. Ainsi, une première génération de recherche portant sur la mise en œuvre du BIM au sein d'agences d'architectures a vu le jour dans la dernière décennie (Hochscheid, Halin 2019; Ademci, Gundes 2018; Arayici et al. 2011). Or, cette recherche a tenté d'identifier les mécanismes nécessaires pour amorcer et soutenir cette transition et s'est axée sur la transformation des pratiques de représentation et de modélisation tridimensionnelle. En parallèle, la recherche s'est penchée sur les utilisations plus progressives du BIM en agence, ciblant des cas d'usages précis, mais dans des contextes de projets spécifiques. Or, le déploiement systématique des pratiques plus avancées du BIM doit faire l'objet de recherche plus poussée étant donnée l'importance de ces usages dans la proposition de valeur pour le BIM notamment au niveau des gains en matière d'efficacité et d'efficience dans l'industrie (Jasiński 2021).

Le cas de la coordination multidisciplinaire est un exemple d'usage de modèle avancé, c'est-à-dire un usage de modèle qui requiert des compétences et des capacités BIM plus développées. La coordination multidisciplinaire joue un rôle important dans la réalisation d'un projet en permettant la création d'un ensemble unique et coordonné de systèmes constructifs qui peuvent être réalisés en éliminant les erreurs et omissions (Tulke 2018). Une coordination efficace de la conception aide à éviter les dépassements de coûts et les retards de calendrier en permettant d'identifier les interférences entre les systèmes de construction et en assurant la rencontre des besoins du client (Leite 2019). En contrepartie, celle-ci exige une connaissance approfondie des systèmes du bâtiment.

La mise en œuvre du BIM aide à répondre aux problématiques actuelles de l'industrie causés par la mauvaise coordination et les irrégularités en matière de gestion et d'échange de données relatives au cycle de vie des projets par des équipes

pluridisciplinaires (Akponeware, Adamu 2017). L'utilisation du BIM pour la coordination de la conception permet un contrôle systématique des erreurs afin d'assurer un suivi des conflits tout en améliorant leur visualisation et leur compréhension par les concepteurs ce qui permet d'obtenir des solutions plus rapides et plus précises (Tulke 2018). Le BIM permet également la fédération des différentes disciplines permettant d'accélérer et de systématiser le processus de coordination via la détection automatique des interférences entre les différents systèmes (Mehrbood et al. 2019a). La coordination assistée par le BIM permet ainsi d'améliorer la qualité et la performance des projets de construction (Tahrani, Boton, Forgues 2015). Des études ont notamment démontré que la coordination de la conception est l'un des usages les plus populaires dans la mise en œuvre du BIM (Leite 2019).

Bien que la coordination assistée par le BIM promette de nombreux avantages, les intervenants impliqués dans sa mise en œuvre demeurent confrontés à des défis importants (Mehrbood, Staub-French, Tory 2020). Par exemple, les professionnels reviennent souvent aux dessins techniques 2D pour l'échange de données entre les membres de projet et ils interagissent rarement avec les outils BIM sans l'aide d'une équipe de coordination, ce qui isole le processus BIM du processus de réalisation de projet général. De plus, les outils BIM actuels ne permettent pas de documenter précisément la complexité, la priorité et la gravité des problèmes de conception, ce qui entraîne des divergences d'information lors des discussions et de la résolution des problèmes (Mehrbood et al. 2019a). Les processus et la technologie utilisés pour effectuer la coordination sont en cours de redéfinition, mais ceux-ci demeurent fragmentés et pas nécessairement alignés sur les pratiques actuelles ou à en devenir au sein des agences d'architecture surtout dans un contexte d'expansion et de continuité de la démarche organisationnelle de mise en œuvre du BIM.

L'objectif principal de la recherche présentée dans cet article est d'étudier le processus de mise en œuvre des pratiques de coordination multidisciplinaire assisté par le BIM à grande échelle au sein d'une agence d'architecture. La recherche vise à mieux comprendre le processus d'implantation d'une plateforme de collaboration ciblée par l'agence pour améliorer la communication et la coordination, au sein de ses projets, notamment ses différentes composantes, ses avantages et ses limites, tout en documentant les verrous rencontrés dans ce processus. Finalement, le projet vise à identifier les besoins en matière de fonctionnalités techniques de la

plateforme pour mieux structurer son déploiement ainsi que pour son développement futur.

L'article examine d'abord la littérature existante sur le BIM en décrivant ses principes, son apport au processus de coordination et son impact sur la phase de conception, ainsi que ses avantages, et ses verrous. La méthode de recherche employée est présentée par la suite. Les résultats de la recherche sont synthétisés et discutés. Enfin, une conclusion est fournie qui inclut les limitations de la recherche et les prochaines étapes à considérer.

REVUE DE LITTÉRATURE

La Modélisation des données sur les infrastructures (*Building Information Modeling* (BIM) en anglais) est un « un processus collaboratif axé sur le développement, l'utilisation, l'échange et la gestion de modèles de données numériques liés à un projet ou à un portefeuille d'infrastructures dans le but d'améliorer sa conception, sa construction et son exploitation » (Gouvernement du Québec 2021). Sa prémisse est de construire virtuellement une installation avant d'entamer sa construction physique dans le but de résoudre les problèmes en amont, accroître la sécurité, minimiser l'incertitude, simuler et évaluer les répercussions potentielles des décisions de conception de projets (Sacks et al. 2018). L'émergence de l'approche BIM a fourni un support technique fiable pour la gestion de l'ensemble du cycle de vie des bâtiments, permettant d'améliorer l'efficacité de la gestion, de réduire les coûts et de minimiser les impacts environnementaux des projets (Succar, Poirier 2020).

La mise en œuvre du BIM engendre une transformation, voir une modernisation, au sein de l'industrie de la construction tout en promettant des améliorations majeures dans la performance des projets (Ahankoob, Manley, Abbasnejad 2022; Lidelöw, Engström, Samuelson 2023). De façon plus ciblée, le BIM engendre une réflexion sur le paradigme prédominant en architecture, forçant le domaine de passer de systèmes représentationnels 2D basés sur des dessins traditionnels vers des systèmes d'information 3D basés sur des objets (Klaschka 2019).

Depuis plusieurs années, on constate une augmentation de l'application du BIM au sein des agences d'architecture et des entreprises de construction (Saghatforoush et al. 2023). Le BIM représente un changement important dans le domaine de l'architecture, au-delà de l'émergence du dessin assisté par ordinateur (DAO), car il peut potentiellement apporter plus de valeur dans le développement des entreprises à moyen et à long terme, notamment en permettant une valorisation

de la donnée (Gless 2019). L'utilisation du BIM est vue comme étant quasiment vitale pour les petites et les moyennes entreprises (PME) du secteur de la construction, notamment les agences d'architecture (Kouch, Ilikainen, Perälä 2018). Or, le processus d'adoption pour ces PME est truffé de défis (Hochscheid, Halin 2018; 2020).

L'intégration du BIM au sein d'agences architecturales offre plusieurs bénéfices, en permettant notamment de réduire le nombre de modèles ambigus (des modèles interprétables de plusieurs manières, entraînant des erreurs), en développant des bases de connaissances communes pour les projets de construction, et en créant un espace virtuel numérique, qui permet l'accès facile aux bases de données (Arayici et al. 2011). L'approche BIM permet aux architectes de mieux comprendre les informations présentées, de partager et de collaborer dans un environnement partagé (Crotty 2013). Dans la phase de conception, le BIM permet de concevoir un modèle paramétrique qui par la suite, aide l'utilisateur à observer les aspects volumétriques, simuler et analyser le confort environnemental, examiner la qualité et la quantité des matériaux, estimer les coûts, ce qui par conséquent, offre une meilleure collaboration, une augmentation de la productivité et une amélioration dans le résultat final du projet (Saghatforoush et al. 2023). Le BIM permet également d'établir une connectivité entre les parties prenantes d'un projet, ce qui facilite le partage d'informations (Wang et al. 2020). Finalement, le travail sur la maquette numérique BIM peut être très précis ce qui permet de produire des livrables de meilleure qualité (Sacks et al. 2018).

La coordination assistée par le BIM

La coordination multidisciplinaire est l'une des clés de la réussite d'un projet de construction. Celle-ci se définit comme une activité collaborative impliquant plusieurs parties prenantes d'un projet afin d'assurer de coordonner l'ensemble des systèmes constructifs d'un actif bâti (Alaloul, Liew, Wan Abdullah Zawawi 2015). La coordination s'apparente à un système structurant les activités de plusieurs parties prenantes autour de la communication et de la coopération, dans le but d'atteindre l'objectif commun d'éliminer les sources de conflits et le dépareillage de la solution bâtie de son intention préliminaire (Alaloul, Liew, Wan Abdullah Zawawi 2015). L'efficacité et l'efficience de la coordination dépend de la communication, de l'échange d'information et de la capacité à prendre des décisions. Traditionnellement, celle-ci se fait soit de manière asynchrone, via des moyens de communication comme le courriel, ou synchrone, dans le cadre de

réunions de coordination dédiés (Goes, Santos 2011). De plus, cette coordination se fait habituellement de façon manuelle à partir de dessins 2D, en les superposant afin d'évaluer l'interaction entre les systèmes et leur réponse aux exigences du client (Chang, Shen 2014). Ce processus est chronophage et ne performe habituellement pas très bien. Mehrbod, Staub-French, et Tory (2020) confirment que la coordination et la détection des conflits par inspection visuelle sont inefficaces et sources d'erreurs. Par ailleurs, comme le souligne Leite, (2019), de nombreux conflits ne sont tout simplement jamais identifiés en raison des limites cognitives des utilisateur-ice-s qui essayaient d'analyser et visualiser en 3D les conflits qui ne se représentent qu'en 2D. Par conséquent, la plupart des conflits passent souvent inaperçus et doivent être résolus sur le terrain, ce qui est inefficace et coûteux (Tuval, Isaac 2022).

La coordination assistée par le BIM permet notamment de relier les activités de conception et de construction par des modèles numériques 3D, d'automatiser l'étape de détection des conflits, d'identifier les conflits dans les modèles numériques et de résoudre ces conflits (Forgues, Botton, Hittier 2018). Mehrbod et al., (2020) affirment que le BIM permet la visualisation, la révision de la conformité aux codes, la détection des conflits et le séquençage de la construction dans le processus de coordination. Par ailleurs, il a été démontré que l'utilisation du BIM améliore la coordination de la conception grâce à une meilleure circulation des informations du projet, et en facilitant la discussion et la résolution des principaux conflits (Paik, Leviakangas, Choi 2022; Park, Lee 2017). Selon Forgues, Botton et Hittier, (2018), basés sur l'étude de Santos et Ferreira (2008), la coordination en 3D offre une réduction significative du temps affecté aux activités de conception, de vérification et de correction d'environ 30% par rapport à la coordination en 2D.

La coordination assistée par le BIM est un processus itératif qui nécessite un effort structuré et concerté de la part des membres d'une équipe de projet (Sierra-Aparicio, Ponz-Tienda, Romero-Cortés 2019). Il s'agit d'un cycle composé de trois étapes interconnectées, qui comprend l'identification des problèmes (la détection des interférences), la résolution des problèmes (l'étape de correction) et la documentation des problèmes (les rapports) (Bhonde 2023; Rahhal et al. 2021).

Malgré les bénéfices apparents de la coordination assistée par le BIM, plusieurs verrous freinent sa mise en œuvre. Ces verrous se déclinent au niveau des processus de même qu'au niveau des outils de coordination et de leur implantation.

Concernant les processus, les verrous courants incluent la caractérisation imprécise et les difficultés de catégorisation des éléments de coordination, la communication inefficace entre les parties prenantes, la navigation difficile entre les représentations du projet, et les difficultés d'interagir avec les artefacts de conception. De plus, la méconnaissance des acteurs impliqués dans le processus constitue un frein (Jacobsson, Merschbrock 2018; Mehrbod, Staub-French, Tory 2020). D'autre part, certains professionnels préfèrent utiliser des dessins techniques papier en 2D pour communiquer les données techniques entre les membres du projet, plutôt que d'utiliser des outils numériques (Bhonde, Zadeh, Staub-French 2022). Ainsi, les informations de conception 3D sont souvent sous-utilisées ce qui crée un enjeu au niveau de l'effort en fonction du rendement (Liu, Lu, Peh 2019).

Au niveau des outils et de la technologie, il a été noté que les outils de coordination BIM sont inadaptés aux processus traditionnels, ce qui n'est pas un problème en soit si le processus est revu sur son ensemble. De plus, les outils BIM actuels ne seraient pas suffisamment adaptés pour une utilisation de groupe, ce qui rend difficile la navigation rapide et efficace dans les modèles 3D, notamment lors des réunions de coordination (Mehrbod et al. 2019b). De façon globale, le choix d'un logiciel facilitant la coordination BIM peut être complexe, car il existe de nombreuses alternatives disponibles sur le marché.

Ainsi, pour des agences d'architecture voulant s'embarquer dans la systématisation de leur processus de coordination assisté par le BIM, plusieurs enjeux demeurent. Bien que la recherche se soit penchée sur la question au niveau du projet, peu de recherche s'est penchée sur la question d'un point de vue organisationnel. Or, les changements qu'imposent cette transition affecteront, et devront être gérés par, l'organisation à priori.

MÉTHODE DE RECHERCHE

La recherche décrite dans cet article s'est déroulée au sein d'une agence d'architecture située à Montréal, Canada. L'agence, fondée en 1983, est reconnue pour son expertise en matière de conception architecturale innovante et durable dans les domaines institutionnel, commercial et multi-résidentiel. Elle compte plus de 400 employés dans trois places d'affaires situées dans la Province de Québec. Elle a entamé le processus d'adoption et d'implantation du BIM en 2010, et donc cumule près de 15 ans d'expérience avec sa mise en œuvre. L'agence a beaucoup axé le déploiement sur la modélisation 3D, la communication visuelle et la documentation de projet. Ayant bien établie les

fondements de leur pratique BIM sur ces usages, elle cherchait à développer ses compétences et ses capacités dans le but d'accroître la portée et le potentiel du BIM en ciblant les nouvelles approches de coordination et de collaboration multidisciplinaire.

L'objectif principal était d'étudier le processus de mise en œuvre des pratiques de coordination multidisciplinaire assisté par le BIM à grande échelle au sein d'une agence d'architecture. Les objectifs spécifiques de la recherche étaient : (1) Comprendre les pratiques, processus et outils de coordination et de collaboration utilisés actuellement au sein de l'agence, (2) identifier les besoins en matière de fonctionnalités et de disponibilités des données dans la plateforme de coordination visée, (3) Documenter les avantages, les limites et les verrous du déploiement de l'usage avancé en relation avec les pratiques courantes de coordination de l'agence, et (4) proposer des pistes d'amélioration pour faciliter le déploiement de l'usage de modèle soutenant la collaboration multidisciplinaire au sein de l'agence.

Pour répondre à ces objectifs, une approche de collecte et d'analyse de données mixte, incluant une revue de la littérature, une enquête en ligne en français et en anglais et des entretiens semi-dirigés a été entreprise.

Discipline	Distribution
Architecture	34%
Mécanique	24%
Structure	15%
Électricité	3%
Design d'intérieur	3%
Gestion BIM	12%
Autre	9%

Tableau 1. Distribution des participant-es à l'enquête par discipline (n=33).

Pour le volet quantitatif, l'objectif était d'évaluer les perceptions sur la mise en œuvre du processus de coordination assisté par le BIM, notamment avec l'utilisation de la plateforme au sein de l'agence et de son réseau de collaborateur-ices sur deux projets. Une enquête a donc été effectuée. L'échantillon ciblé représentait des participant-es de deux projets où le processus souhaité de coordination multidisciplinaire a été mis en place. 33 intervenant-es impliqué-es dans les projets ciblés ont participé à l'enquête sur un total de 65 personnes invitées. Ces participant-es provenaient de l'agence mais également de l'externe, soit les partenaires de l'agence sur les deux projets ciblés. Le profil des participant-es à l'enquête par discipline est indiqué au Tableau 1, tandis que le

profil des participant-es à l'enquête par rôle est indiqué au Tableau 2. Le Tableau 3 indique le profil des participant-es à l'enquête par année d'expérience.

L'enquête comportait 16 questions réparties en trois (3) sections: (1) le profil du/de la participant-e (expérience professionnelle, département et projet actuel), (2) le processus et la plateforme (connaissance générale, fréquence de mise en œuvre, fonctionnalités les plus utilisées et l'impact sur le travail en général) et (3) les avantages, les verrous et les points à améliorer dans la mise en œuvre du BIM pour soutenir cet usage.

Rôle	Distribution
Concepteur-modélisateur	18%
Coordonnateur BIM	18%
Technique	15%
Architecte	12%
Gestionnaire BIM	9%
Chargé de projet	6%
Support	6%
Autre	15%

Tableau 2. Distribution des participant-es à l'enquête par rôle (n=33).

Expérience	Distribution
0-5 ans	24%
5-10 ans	18%
10-20 ans	40%
20 ans et +	18%

Tableau 3. Distribution des participant-es à l'enquête par année d'expérience (n=33).

Pour le volet qualitatif, sept (7) entretiens semi-dirigés ont été conduits auprès des employé-es de l'agence d'architecture ayant participé dans les projets ciblés. Les entretiens ont duré entre 20 et 40 minutes et ont été effectués par visioconférence. Elles ont permis de détailler le processus de coordination traditionnel et actuel au sein de l'agence, le niveau d'adoption des outils BIM dans le contexte de la coordination multidisciplinaire, les améliorations potentiels de la plateforme de coordination, les difficultés rencontrées et les suggestions pour améliorer le processus de coordination actuel. Le Tableau 4 indique la liste des participant-es interviewé-es dans le cadre du projet de recherche.

Discipline	Participant
Architecture	Chargé de projet adjointe
Architecture	Architecte (utilisateur avancé)
Architecture	Architecte (utilisateur)
Architecture	Chargé de coordination
Architecture	Directeur BIM
Architecture	Chargé de projet adjointe
Structure	Gestionnaire BIM

Tableau 4. List des participant-es interviewé-es (n=7).

RÉSULTATS

Les résultats sont présentés en fonction des quatre objectifs spécifiques énoncés auparavant. Le premier visait de bien comprendre les pratiques, processus et outils de coordination et de collaboration utilisés actuellement au sein de l'agence.

Pratiques, processus et outils de coordination et de collaboration actuels au sein de l'agence

Le processus de coordination générique, cartographié et puis validé avec les membres de l'agence, est illustré à la Figure 1. Il est d'abord possible de remarquer une approche hybride comportant deux flux de coordination : un flux de coordination traditionnel basé sur des plans 2D (en vert sur la figure 1) et un flux de coordination assisté par les outils 3D (en bleu sur la figure 1). Le processus de coordination est caractérisé par une série d'étapes à la suite du développement de concept et de modélisation (en jaune sur la figure 1). Il est important de noter que l'hybridation des flux ont été observés au sein des deux études de cas. Les entretiens indiquent qu'il s'agit d'une approche relativement standard au sein des projets BIM de l'agence.

Une fois le modèle d'information développé, les étapes de la coordination sont entamées (en rouge sur la figure 1). La première étape est l'échange et la fédération de l'information. Selon le flux de coordination 2D, ceci se fait directement via la plateforme de lecture des plans 2D en format PDF. Dans le cadre du flux de coordination 3D, ceci se fait via le partage des modèles d'information dans l'environnement de données commun (EDC) de même que via un export vers la plateforme de coordination.

Les éléments de coordination sont identifiés et puis communiqués une fois que les informations 2D ou 3D sont partagées via l'une des trois plateformes, que la revue de concept et que la détection d'interférence soit effectuée via une revue visuelle.

Le processus privilégié dépendra des préférences de la personne menant la tâche, son implication dans celle-ci et de son rôle dans le projet. Dans le flux 2D, ceci se fait de façon traditionnelle, soit une revue visuelle de chaque plan avec annotation via un interface permettant d'identifier et d'annoter les éléments de coordination. Ceci constitue une numérisation des pratiques traditionnelles de marquer les éléments de coordination au crayon rouge sur papier. Cette approche se fait de façon asynchrone et semblait privilégiée par les architectes lors de revues pour émissions de plans officielles.

Dans le flux 3D, trois approches sont utilisées pour effectuer la revue : soit directement dans l'outil de modélisation, dans le module de coordination de l'EDC et dans la plateforme de coordination. Chacune des approches fait intervenir des fonctionnalités de revue, des flux de communication et des interfaces différentes. L'identification d'éléments de coordination à même l'outil de modélisation semble être privilégié par les techniciens et les coordonnateurs BIM, soit les personnes œuvrant dans cet outil sur une base quotidienne. Les éléments de coordination sont communiqués via capture d'écran et puis partagés par courriel. Ceci cause certains problèmes puisque cela déroge de la volonté de centraliser les informations et le suivi de projet au sein de la plateforme de coordination le plus possible. Des solutions existent, dont le recours au BIM Collaboration Format (BCF) de buildingSMART, mais celle-ci n'a pas été implantée par l'agence.

L'identification et la communication des éléments de coordination via le module de coordination de l'EDC donne accès à l'ensemble des informations de projet échangés, dont les modèles 3D, fédérés dans une plateforme infonuagique. L'annotation se fait sensiblement pareil que dans l'approche 2D, soit par la création d'un repère visuel avec commentaire qui est par la suite consigné à même l'EDC.

Finalement, dans le cas de l'identification et de la communication des éléments de coordination via la plateforme de coordination, le visionnement et l'annotation se fait soit par l'interface de l'outil local, connecté à la base de données hébergée sur le web ou soit directement via l'interface web. Similairement à l'EDC, la plateforme permet de rassembler et fédérer plusieurs modèles d'information. Cependant, cette plateforme n'est pas une EDC au sens propre, n'étant pas une plateforme d'échange et de gestion de données et de documents. Plutôt, la plateforme de coordination peut établir un lien avec l'EDC pour échanger certaines données. En revanche, elle offre plus de fonctionnalités en matière de visualisation, identification, annotation et suivi des éléments de coordination que le module de coordination de

l'EDC. Notamment, elle offre une vue intégrée de plans 2D et des modèles 3D.

Comme illustré à la figure 1, l'agence emploie principalement trois façons de communiquer les éléments de coordination : soit par courriel ou messagerie, lors des rencontres de coordination et par attribution dans l'EDC ou dans la plateforme de coordination. Une fois communiquée, une décision est prise lors de la dernière étape du processus, soit de modifier, soit de maintenir ou de différer. Selon la décision, soit l'équipe modifie la maquette et recommence le processus ou elle passe à l'étape suivante.

Plusieurs raisons expliquent le dédoublement des flux de coordination et de l'utilisation des plateformes et outils de coordination. Par exemple, le chargé de coordination expliquait la difficulté de choisir un logiciel à utiliser autant à l'interne qu'à l'externe, à la lumière des multiples façons d'atteindre les objectifs de la coordination et des outils qui sont offerts sur le marché :

« Il est compliqué pour nous de choisir ce qu'on doit utiliser comme logiciel avec l'équipe interne et l'équipe externe. Nous avons donc décidé d'utiliser [la plateforme de coordination] uniquement pour la communication externe (avec les ingénieurs et les autres disciplines). Mais pour la communication interne, nous préférons utiliser [l'outil de plans 2D électroniques] afin de dessiner, commenter et partager tous les PDF, dont tous les membres de l'équipe ont accès à ça en ligne et de base, ils connaissent déjà bien l'outil. » (Chargé de coordination).

La chargée de projet de production et de coordination interdisciplinaire fait écho à ce défi de prioriser un flux de coordination au profit d'une autre, puisqu'ils ont chacun leurs avantages :

« Personnellement j'utilise [la plateforme de coordination], [l'outil de plans 2D électroniques] et [l'outil de modélisation] pour consultation des documents des autres disciplines, repérer les conflits et trouver des solutions (en faisant des annotations sur les documents 2D et des captures d'écrans pour les « markups »), mon choix du logiciel dépend de la taille de projet et les outils que les autres entreprises ou les consultants utilisent. » (Chargée de projet de production et de coordination interdisciplinaire).

En contrepartie, pour certaines personnes, la plateforme de coordination présente des limites :

« [La plateforme de coordination] n'est pas rigoureux[se], mais c'est un outil qui permet d'éviter tous les courriels de coordination. En plus je trouve que l'outil esquisse [disponible dans la plateforme de coordination] est assez pénible, donc je préfère utiliser [l'outil de plans 2D électroniques] pour faire les croquis et les esquisses » (Architecte, chargée de projet et coordonnatrice)

L'architecte identifie donc des limites de la plateforme de coordination à l'égard de certaines fonctionnalités, notamment les fonctions d'esquisse et d'annotation, ce qui freine son adoption par celle-ci.

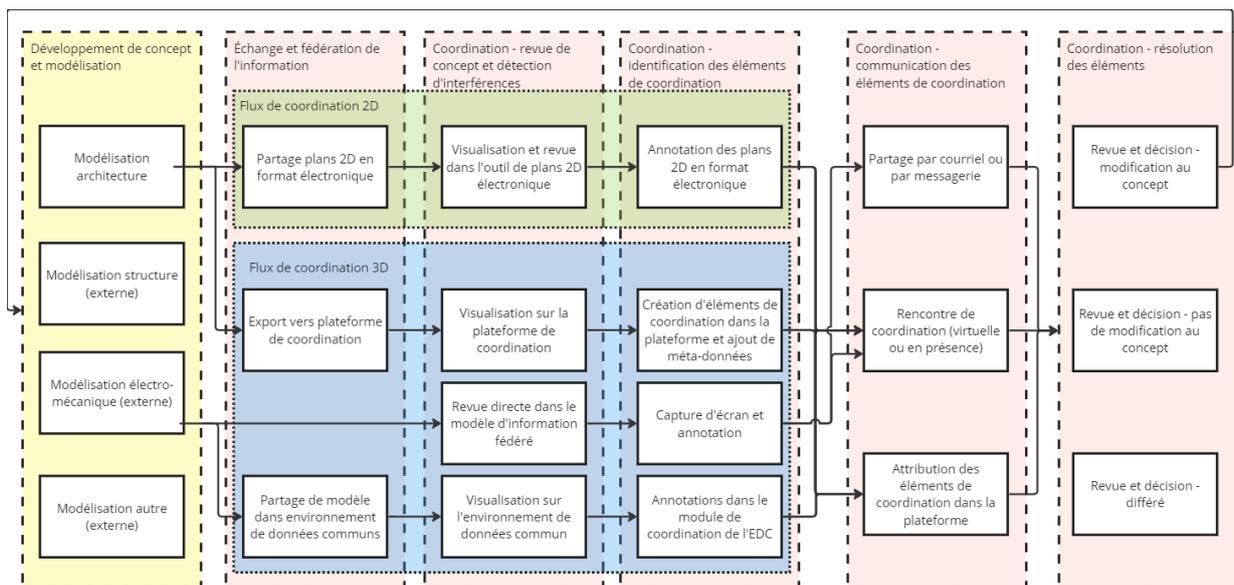


Figure 1 - Processus de coordination au sein de l'agence.

Fonctionnalités et données souhaités dans la plateforme visée

En premier lieu, il importait de comprendre le niveau d'aisance des répondant-es avec la plateforme de coordination. À cet effet, la majorité des répondant-es, soit 56%, ont indiqué avoir une connaissance assez avancée de celle-ci, soit de 6 sur 10 ou plus. En parallèle, en regardant la fréquence d'utilisation de la plateforme de coordination, 24% des personnes répondantes utilisent le logiciel quotidiennement dans leur travail, tandis que 48% l'utilisent au moins une à deux fois par semaine. Cependant, 20% des répondant-es n'utilisent l'outil qu'une ou deux fois par mois et 8% rarement. Ainsi, une forte majorité semblent utiliser la plateforme de façon assez régulière, soit au moins une fois par semaine dans le cadre d'un des projets identifiés pour l'étude.

Les participant-es ont été sondé-es sur la fréquence d'utilisation des fonctionnalités de la plateforme de collaboration, l'opérationnalisation des pratiques liées à la coordination multidisciplinaire étant tributaire de ces fonctionnalités dans la plateforme. Les fonctionnalités les plus utilisées de la plateforme sont les modèles d'apparence, qui permet aux utilisateur-ice-s de modifier l'apparence des modèles selon leur préférences, l'identification d'éléments multiple et suivi de ces éléments avec 64% des répondant-es qui les utilisent souvent ou toujours. En contrepartie, plusieurs fonctionnalités disponibles dans la plateforme sont rarement utilisées. Par exemple, les ensembles de recherche, qui permet de cibler des éléments, systèmes ou zones particulières d'un projet, ne sont utilisés que par 40% des répondant-es, les propriétés personnalisées, qui permet d'ajouter des propriétés spécifiques aux modèles d'information, par 32% et la fonction unités et transformations qui est utilisée rarement par 36% des répondant-es et jamais par 44% d'entre eux.

En ce qui concerne le mode navigation et recherche des objets, les répondant-es sont partagé-es, avec 44% d'entre eux qui les utilisent souvent ou toujours et 56 % qui ne les utilisent jamais ou rarement. La même chose est observable pour la fonction de mesures 2D, avec 52% des répondant-es qui les utilisent souvent ou toujours et 48% qui ne les utilisent jamais ou rarement. Certain-es répondant-es ajoutent qu'ils/elles utilisent d'autres fonctionnalités en parallèle comme : le paramétrage, la création de points de vue pour visualiser les différentes conditions, les exports hebdomadaires, la visualisation du modèle en 3D et aussi les coupes, les arborescences d'objets, le suivi des commentaires pour coordination, la superposition de plans 2D et la navigation 3D.

Selon l'analyse des données collectées, il a été constaté que les utilisateur-ice-s peuvent être sélectif-ve-s dans l'utilisation de certaines fonctionnalités de la plateforme de coordination, en fonction de leurs besoins spécifiques pour leur projet ou leur processus de travail. Cela peut être influencé par leurs préférences personnelles pour d'autres outils qui leur conviennent mieux, ou la complexité de certaines fonctions dans l'outil qui peuvent les rendre difficiles à comprendre et à utiliser. De plus, le manque de support et de formation adéquate de la part de l'agence peut limiter la capacité des utilisateur-ice-s à exploiter toutes les fonctionnalités de l'outil.

Avantages, limites et verrous à la mise en œuvre de la coordination multidisciplinaire assisté par le BIM au sein de l'agence

À priori, les participant-es utilisant la plateforme de coordination dans le contexte d'un flux de coordination 3D ont indiqué être globalement satisfaits de son utilisation dans leurs projets, avec la majorité des répondant-es, soit 68 %, donnant une note d'appréciation supérieure à 7 sur 10. À cet effet, 28% des répondant-es ont indiqué une note de 8 sur 10 et 20%, une note de 10 sur 10. En revanche, 32% des répondant-es ont donné une note inférieure à 6 sur 10.

La perception de la plateforme de coordination de la part des disciplines sondées (ref. tableau 1) est positive (48% des répondant-es) ou très positif (40% des répondant-es). Les architectes ont un avis positif (63%) ou très positif (37%) de la plateforme, de même que les ingénieur-es en structure (positif (67%); très positif (33%)), et le personnel spécialisé en BIM (positif (25%); très positif (75%)). Les disciplines de mécanique et électrique ont également un avis positif (34%) ou très positif (50%) de la plateforme, cependant, certains répondant-es dans ces disciplines ont un avis très négatif (16%). Les autres répondant-es ont un avis mitigé, soit neutre, ou négatif.

En regardant de plus près les avantages perçus de l'utilisation de la plateforme numérique dans le contexte de la coordination multidisciplinaire, les participant-es en ont identifié plusieurs qui se déclinent en 4 catégories : la visualisation, la centralisation, l'accessibilité et la navigation ainsi que le suivi et la traçabilité. Les bénéfices sont résumés dans le tableau 5.

Ainsi, une des principales catégories d'avantages que propose la plateforme de coordination est de supporter la visualisation multidisciplinaire et multimodale des informations liées au projet. Ceci permet entre autres de présenter les informations du projet de façon simplifiée aux participant-es

non-expert-es, comme le client et les usagers, de même que pour les membres de l'équipe de projet ayant moins d'aisance avec les outils numériques. L'aspect multimodale, soit la capacité de visualiser et naviguer à la fois des plans 2D et le modèle 3D est appréciée. Finalement, les performances de visualisation offertes par la plateforme, notamment le rendu des matériaux, ombres, contexte, etc. est également vu comme un bénéfice.

La seconde catégorie de bénéfices perçus est la centralisation des flux de communication et des activités de coordination en lien avec le projet. En ce sens, la plateforme de coordination propose une connexion directe avec la plateforme de modélisation, et potentiellement l'EDC, via une interface de programmation d'applications (API).

La troisième catégorie de bénéfices perçus est l'accès à l'information et la navigation offerte par la plateforme de coordination. La plateforme permet notamment d'effectuer une recherche par mot clé, de classer et de sauvegarder des vues et des éléments de coordination pour référence et suivi. Elle permet d'accéder aux modèles d'information de façon simplifiée, ne nécessitant pas d'accès aux outils de modélisation spécialisés. Finalement, la plateforme offre des fonctionnalités spécifiques pour faciliter la navigation dont la création de filtres pour accéder aux éléments de coordination et aux vues de projet.

La dernière catégorie d'avantages perçus est le suivi et la traçabilité des éléments de coordination. La gestion des éléments de coordination se fait via leur identification, annotation et l'attribution de leur résolution à une partie prenante particulière dans le projet. De plus, la plateforme permet d'archiver et de conserver des traces sur les décisions prises en matière de résolution des éléments de coordination, offrant un historique des discussions entourant celles-ci.

Pris ensemble, ces bénéfices promettent des gains importants au niveau du projet, dont des gains en temps, en efficacité et en efficience. Une réduction du nombre de courriels ainsi qu'une réduction du nombre de réunions nécessaires a également été perçue. En ce sens et pour conclure, la grande majorité des répondant-es, soit 92%, sont prêt-es à utiliser la plateforme de collaboration pour leurs projets futurs.

Bénéfices identifiés

Support à la visualisation multidisciplinaire et multimodale des informations liées au projet

- Présentation simplifiée des informations du projet aux participant-es non-experts

- Visualisation multimodale, soit la capacité de visualiser et naviguer à la fois des plans 2D et le modèle 3D

- Performance de visualisation et réalisme accrue

Centralisation des flux de communication et des activités de coordination en lien avec le projet.

- Connexion directe possible avec la plateforme de modélisation, et potentiellement l'EDC, via une interface de programmation d'applications (API).

Accès à l'information et navigation intuitive

- Possibilité de recherche par mot clé, de classification et de sauvegarde des vues et des éléments de coordination pour référence et suivi

- Accès simplifié aux modèles d'information, ne nécessitant pas d'outils de modélisation spécialisés

- Facilité de navigation, dont la création de filtres pour accéder aux éléments de coordination et aux vues de projet.

Suivi et traçabilité des éléments de coordination

- Identification et annotation des éléments de coordination

- Assignation de la résolution des éléments de coordination à une partie.

- Archivage des éléments de coordination, Historique des discussions

Tableau 5 - Bénéfices identifiés de la mise en œuvre du processus de coordination assisté par le BIM.

En contrepartie aux bénéfices identifiés ci-dessus, plusieurs verrous impactent la mise en œuvre de la plateforme dans un contexte de coordination multidisciplinaire assisté par le BIM. Ceci explique partiellement le maintien de flux de coordination hybride (2D et 3D). Ces verrous se résument en six catégories : les problèmes de performance de l'outil, l'absence de fonctionnalités clés, l'interface utilisateur et l'adaptabilité de l'outil, le manque de compétences de la part des utilisateur-ice-s et d'appui à l'implantation par l'agence, l'implantation en fonction de la réalité de projet et les défis de reconfiguration des processus au sein de celle-ci. Les verrous identifiés sont synthétisés dans le tableau 6.

Les problèmes de performance incluent la lenteur d'exportation de la plateforme de modélisation vers la plateforme de coordination, la navigation et la visualisation impactée dans le cadre de grands projets, notamment la navigation entre les vues 2D et 3D et la réinitialisation régulière des propriétés d'apparence personnalisées lors de mises à jour des modèles.

L'absence de fonctionnalités clés dont le 'copier-coller' de plusieurs éléments à la fois, la difficulté de créer et partager des vues 3D personnalisées et les difficultés avec les outils de mesure, notamment les attaches aux lignes dans les plans 2D. Il y a des difficultés avec l'affichage des annotations et les alertes des usagers dans la création, l'attribution et la résolution des éléments de coordination ont été soulevés. Finalement, des difficultés avec les logs et le suivi des commentaires a été mentionné.

Les verrous relatifs à l'interface utilisateur et l'adaptabilité de l'outil incluent la complexité de cette interface pour les utilisateur-ice-s non-experts et la courbe d'apprentissage. Certains utilisateur-ice-s ont noté la difficulté, voire l'impossibilité de l'adapter, ou d'utiliser les fonctions de filtrage des éléments de coordination. Finalement, les problèmes d'interopérabilité de typographie (l'absence de polices de caractère lors d'export de plans 2D) ou l'aspect graphique des informations laisse à désirer.

Le manque de compétence des utilisateur-ice-s et d'appui à l'implantation par l'agence a également été identifiée comme verrou. En général, étant nouveau comme flux de travail, un manque général d'expérience avec l'outil a été indiqué par les participant-es. Ceci résulte en la sous-utilisation de la plateforme et potentiellement, des solutions de rechange. De plus, les formations étaient perçues comme étant succinctes et ne couvrant pas tous les aspects nécessaires à sa bonne utilisation. En ce sens, la documentation disponible sur l'utilisation de la plateforme est considérée comme insuffisante pour répondre aux questions et aux besoins des utilisateur-ice-s, ce qui nécessite une formation supplémentaire. Le gestionnaire BIM en structure et coordonnateur principal a notamment commenté en ce sens :

« Je trouve qu'il y a un manque d'expérience au niveau de l'outil et les formations étaient brèves (des survols). » (Gestionnaire BIM en structure et coordonnateur principal).

En parallèle de ce verrou, l'implantation du processus de coordination multidisciplinaire assisté par le BIM fait face à la réalité du projet. Ainsi, la rapidité avec laquelle se déroule ces projets rend difficile l'apprentissage sur le terrain ce qui impacte le processus d'implantation. Ceci exige une prise en charge technique plus importante de la

part de l'équipe de soutien BIM de l'agence, qui œuvre déjà sur d'autres projets en cours. Ainsi, la disponibilité des ressources pour régler les problèmes quotidiens dans la plateforme soulevés par les utilisateur-ice-s peut causer des soucis, ce qui peut avoir un impact sur le projet directement, en augmentant le temps de résolution des problèmes, par exemple.

Finalement, l'introduction d'un flux de coordination 3D supportée par une plateforme centralisée implique une reconfiguration importante du processus de coordination. Il s'agit d'un verrou lié à la gestion du changement, qui est au cœur de la démarche de transition de l'agence. Comme le mentionne le directeur BIM de l'agence, responsable du déploiement de la plateforme :

« Ce sont beaucoup plus des problèmes logistiques : Les projets vont vite, la résistance aux changements (les chargés de projet n'ont pas le temps) et le défi de changer la culture du travail demeurent importants » (Directeur BIM).

Pistes d'amélioration pour faciliter le déploiement de la collaboration multidisciplinaire au sein de l'agence

Les pistes d'amélioration pour faciliter le déploiement de la collaboration multidisciplinaire assistée par le BIM au sein de l'agence sont déclinées en trois parties : au niveau de l'organisation, au niveau du processus et au niveau de la technologie.

D'un point de vue organisationnel, la question du choix de plateforme et de sa consolidation au sein de l'agence demeure prioritaire. Puisqu'elle est encore en phase de rodage et que d'autres plateformes et outils supportant la coordination voient le jour constamment, l'agence demeure à l'affût afin de voir si la plateforme choisie demeure le choix le plus propice considérant leur réalité. Or, comme démontré, l'utilisation de plusieurs outils et de plateformes en parallèle introduit de la variabilité dans le processus. Une fois un choix effectué et un engagement pris, via une politique de l'agence par exemple, le développement de formations et de ressources, dont des guides, tutoriels, sessions de formation et autres deviennent possibles. En parallèle, une meilleure adhésion via une meilleure compréhension de la plateforme au moyen d'une communication claire peut être envisagée. Finalement, la communication autour de l'utilisation de la plateforme demeure importante, notamment concernant les mises à jour, les nouvelles fonctionnalités disponibles et les meilleures pratiques.

Verrous identifiés

Problèmes de performance de l'outil,

Lenteur d'exportation de la plateforme de modélisation vers la plateforme de coordination

Navigation et visualisation impactée dans le cadre de grands projets, notamment la navigation entre les vues 2D et 3D

Réinitialisation régulière des propriétés d'apparence personnalisée lors de mises à jour des modèles.

Absence de fonctionnalités clés,

Impossibilité de 'copier-coller' plusieurs éléments à la fois,

Difficulté de créer et partager des vues 3D personnalisées

Difficultés avec les outils de mesure, notamment les attaches aux lignes dans les plans 2D.

Difficultés avec l'affichage des annotations e

Absence d'alertes des usagers dans la création, l'attribution et la résolution des éléments de coordination

Difficultés avec les logs et le suivi des commentaires

Interface utilisateur et adaptabilité de l'outil,

Complexité de l'interface pour les utilisateur-ice-s non expert-es

La courbe d'apprentissage en lien avec le processus et l'outil

Impossibilité d'adapter, ou d'utiliser les fonctions de filtrage des éléments de coordination

Problèmes d'interopérabilité de typographie (l'absence de polices de caractère lors d'export de plans 2D) où l'aspect graphique des informations laisse à désirer.

Manque de compétences de la part des utilisateur-ice-s et d'appui à l'implantation par l'agence,

Manque général d'expérience avec la plateforme dû à sa nouveauté

Sous-utilisation de la plateforme

Absence de formations ciblées et complètes

Insuffisance de la documentation disponible sur l'utilisation de la plateforme

Implantation du processus en fonction de la réalité de projet

Rapidité de déroulement des projets rend difficile l'apprentissage sur le terrain

Prise en charge technique plus importante de la part de l'équipe de soutien BIM de l'agence

Disponibilité des ressources de support

Défis de reconfiguration des processus au sein de l'agence

Gestion du changement inadéquate ou incompatible

Changement dans les habitudes

Tableau 6 – Verrous identifiés de la mise en œuvre du processus de coordination assisté par le BIM

La modification au processus de coordination amené par l'introduction de la plateforme doit être communiquée et continuellement raffinée. Il va de soi que ce changement implique une plus grande systématisation du processus de coordination que ce qui était fait auparavant. Ainsi, il est question d'établir un flux de travail plus encadré et contrôlé, soutenu par des réglages préétablis par discipline. En parallèle, il est question de développer un protocole d'identification et de vérification des éléments de coordination, ce qui aiderait dans l'optimisation du travail d'équipe. Dans ce protocole, il pourrait être question des délais de traitement des éléments de coordination, de l'organisation et priorisation de celles-ci et de leur suivi hebdomadaire. Le but ultime serait d'inscrire le recours à la plateforme dans la routine de projet.

Enfin, d'un point de vue technologique, les recommandations touchent plutôt le développeur de la plateforme que l'agence, puisque celles-ci visent les fonctionnalités de l'outil. Ainsi, ces recommandations sont omises dans cet article.

Étant donné que l'agence a déjà plusieurs années d'expérience avec la mise en œuvre du BIM au sein de ses projets, l'ajout de capacités BIM, comme la coordination, peut venir heurter des pratiques émergentes ou existantes. Les résultats démontrent que la mise en œuvre du BIM au sein de l'agence est un processus continu et itératif qui demande un soutien constant de la part des acteurs impliqués dans le processus de mise en œuvre. Ceux-ci doivent œuvrer sur plusieurs dimensions et terrains à la fois, ce qui complexifie le processus.

DISCUSSION ET CONCLUSION

La recherche présentée dans cet article a permis de documenter la mise en œuvre d'un processus de coordination multidisciplinaire assistée par le BIM au sein d'une agence d'architecture. De façon plus spécifique, les composantes, les avantages et les limites du processus de mise en œuvre ont été identifiés et les besoins de l'agence en matière de fonctionnalités et de soutien ont été déterminés. L'étude a été menée en trois phases concourantes.

La première phase était consacrée à une revue de la littérature et des meilleures pratiques en la matière. La seconde phase a permis de déterminer les avantages, identifier les obstacles et découvrir les opportunités offertes par la mise en œuvre de la plateforme de coordination au moyen d'une enquête ciblant les personnes impliquées ou affectées par le pilotage de son déploiement sur deux projets majeurs de l'agence. L'ultime phase a permis d'approfondir certains aspects liés au déploiement de la plateforme via des entrevues ciblées, notamment en matière de besoins en plus de fonctionnalités spécifiques.

En général, l'implantation et la mise en œuvre de la plateforme de coordination et le processus qui les soutient sont reçus de manières favorables par les personnes participantes à l'étude. Les capacités de visualisation, de navigation, de centralisation de l'information du projet et le suivi des éléments de coordination se retrouvent améliorées par l'utilisation de la plateforme. En contrepartie, plusieurs verrous se dressent à l'implantation complète de la solution identifiée et retenue, notamment en matière de formation et expertise, de performance, d'incompatibilité procédurale et technologique et de flexibilité de l'outil pour s'adapter à différentes approches à la coordination. Finalement, une série de recommandations d'ordre organisationnelles, procédurales et technologiques pour faciliter l'implantation ont été formulées. Le support au changement et l'appui à la transformation de la pratique demeurent parmi les plus importantes de celles-ci. Malgré cela, la plateforme de coordination et son utilisation suscitent un fort intérêt au sein de l'agence.

Un des principaux constats de la recherche est la forte présence de flux de travail hybride, soit des flux 2D et des flux 3D, au sein de l'agence, malgré une mise en œuvre du BIM progressive depuis plus d'une décennie. En effet, une fois la mise en œuvre des outils de modélisation effectuée, en remplacement des outils de dessins traditionnels, une nouvelle génération de déploiement, qui incluent la mise en œuvre d'environnements de données communs et d'outils plus spécialisés permettant de consommer et de gérer les informations de projet tout en offrant des capacités additionnelles comme l'automatisation et la centralisation de certaines tâches. Ce qui en ressort est que cette deuxième génération de déploiement n'est pas pour le moindre complexe et demande une attention, ainsi que des ressources considérables, de la part de l'agence.

En matière de limites de la recherche, la taille limitée de l'échantillon, tant au niveau de l'enquête que pour les entrevues, peut limiter la généralisabilité des résultats, d'autant plus que la collecte s'est faite au sein d'une agence. Étant

exploratoires, les résultats ne demeurent pas moindres quant aux obstacles et avantages perçus de même que les pistes de développement futures. Les travaux futurs peuvent s'articuler au sein de l'agence, en augmentant la taille de l'échantillon pour obtenir une meilleure rétroaction par rapport à la plateforme et sa mise en œuvre. En parallèle, il serait intéressant d'impliquer d'autres agences d'architecture afin de comprendre les avantages, les verrous et les besoins dans plusieurs contextes différents.

RÉFÉRENCES

- ADEMCI, E et GUNDES, S, 2018. Review of Studies on BIM Adoption in AEC Industry. 2018. pp. 10.
- AHANKOUB, Alireza, MANLEY, Karen et ABBASNEJAD, Behzad, 2022. The role of contractors' building information modelling (BIM) experience in realising the potential values of BIM. *International Journal of Construction Management*. 12 mars 2022. Vol. 22, N° 4, pp. 588-599. DOI 10.1080/15623599.2019.1639126
- AKPONEWARE, Anderson O. et ADAMU, Zulfikar A., 2017. Clash Detection or Clash Avoidance? An Investigation into Coordination Problems in 3D BIM. *Buildings*. 2017. Vol. 7, N° 3, pp. 75. DOI 10.3390/buildings7030075
- ALALOUL, Wesam Salah, LIEW, Mohd Shahir et WAN ABDULLAH ZAWAWI, Noor Amila, 2015. The characteristics of coordination process in construction projects. In: *2015 International Symposium on Technology Management and Emerging Technologies (ISTMET)* [en ligne]. Août 2015. pp. 159-164. [Consulté le 15 janvier 2024]. Disponible à l'adresse : <https://ieeexplore.ieee.org/document/7359021>
- ARAYICI, Y., COATES, P., KOSKELA, L., KAGIOGLOU, M., USHER, C. et O'REILLY, K., 2011. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in Construction*. 1 mars 2011. Vol. 20, N° 2, pp. 189-195. DOI 10.1016/j.autcon.2010.09.016
- BHONDE, Devarsh, 2023. *Understanding The Changes Resulting From The Virtualization Of BIM-Enabled Collaborative Design Processes In The Building Construction Industry* [en ligne]. University of British Columbia. Disponible à l'adresse : <https://open.library.ubc.ca/media/stream/pdf/24/1.0434148/4>
- BHONDE, Devarsh, ZADEH, Puyan et STAUB-FRENCH, Sheryl, 2022. Characterizing The Effects Of Cloud-Based BIM Collaboration Tools On Design Coordination Processes. 2022. pp. 32.
- CHANG, Andrew S. et SHEN, Fang-Ying, 2014. Effectiveness of Coordination Methods in Construction Projects. *Journal of Management in Engineering*. 1er mai 2014. Vol. 30, N° 3, pp. 04014008. DOI 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000222

- CROTTY, Ray, 2013. *The Impact of Building Information Modelling : Transforming Construction* [en ligne]. Routledge. [Consulté le 10 septembre 2020]. ISBN 978-0-203-83601-9. Disponible à l'adresse : <https://www.taylorfrancis.com/books/9780203836019>
- FORGUES, Daniel, BOTON, Conrad et HITTIER, Clément, 2018. *Guide de coordination 3D basée sur des maquettes BIM*.
- GLESS, Henri-Jean, 2019. Vers une conception architecturale BIM-agile. *Proposition d'un ensemble*. 2019.
- GOES, RHTB et SANTOS, ET, 2011. Design coordination with Building Information Modeling: a case study. In : *Proceedings of the CIB W78-W102 2011: International Conference-Sophia Antipolis, France*. 2011. pp. 26-28.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC, 2021. V1.0 : *Feuille de route gouvernementale pour la modélisation des données du bâtiment (BIM) (30 juin 2021)* [en ligne]. Québec, Canada : Conseil du trésor du Québec. [Consulté le 28 février 2022]. Disponible à l'adresse : https://www.tresor.gouv.qc.ca/fileadmin/PDF/infrastructures_publicques/Feuille_route_gouvernementale_BIM.pdf
- HOCHSCHEID, Élodie et HALIN, Gilles, 2018. L'adoption du BIM dans les agences d'architecture en France. In : *SHS Web of Conferences*. EDP Sciences. 2018. pp. 01009. ISBN 2261-2424
- HOCHSCHEID, Elodie et HALIN, Gilles, 2019. Micro BIM Adoption in Design Firms: Guidelines for Doing a BIM Implementation Plan. In : *Proceedings of the Creative Construction Conference 2019* [en ligne]. Budapest University of Technology and Economics. 2019. pp. 864-871. [Consulté le 27 mars 2021]. ISBN 978-615-5270-56-7. Disponible à l'adresse : <https://repozitorium.omikk.bme.hu/handle/10890/13301>
- HOCHSCHEID, Elodie et HALIN, Gilles, 2020. Generic and SME-specific factors that influence the BIM adoption process: an overview that highlights gaps in the literature. *Frontiers of Engineering Management*. mars 2020. Vol. 7, N° 1, pp. 119-130. DOI 10.1007/s42524-019-0043-2
- JACOBSSON, Mattias et MERSCHBROCK, Christoph, 2018. BIM coordinators: a review. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 1er janvier 2018. Vol. 25, N° 8, pp. 989-1008. DOI 10.1108/ECAM-03-2017-0050
- JASIŃSKI, Artur, 2021. Impact of BIM implementation on architectural practice. *Architectural Engineering and Design Management*. 2 novembre 2021. Vol. 17, N° 5-6, pp. 447-457. DOI 10.1080/17452007.2020.1854651
- KLASCHKA, Robert (éd.), 2019. *BIM in Small Practices: Illustrated Case Studies*. London : NBS. ISBN 978-0-429-34756-6
- KOUCH, Arman M., ILLIKAINEN, Kimmo et PERÄLÄ, Seppo, 2018. Key Factors of an Initial BIM Implementation Framework for Small and Medium-sized Enterprises (SMEs). *ISARC Proceedings*. 22 juillet 2018. pp. 904-912.
- LEITE, Fernanda L, 2019. *BIM for design coordination: A virtual design and construction guide for designers, general contractors, and MEP subcontractors*. John Wiley & Sons. ISBN 1-119-51601-3
- LIDELÖW, Sofia, ENGSTRÖM, Susanne et SAMUELSON, Olle, 2023. The promise of BIM? Searching for realized benefits in the Nordic architecture, engineering, construction, and operation industries. *Journal of Building Engineering*. 1er octobre 2023. Vol. 76, pp. 107067. DOI 10.1016/j.job.2023.107067
- LIU, Ziwen, LU, Yujie et PEH, Lu Chang, 2019. A review and scientometric analysis of global building information modeling (BIM) research in the architecture, engineering and construction (AEC) industry. *Buildings*. 2019. Vol. 9, N° 10, pp. 210.
- MEHRBOD, Sarmad, STAUB-FRENCH, Sheryl, MAHYAR, Narges et TORY, Melanie, 2019a. Characterizing interactions with BIM tools and artifacts in building design coordination meetings. *Automation in Construction*. 1er février 2019. Vol. 98, pp. 195-213. DOI 10.1016/j.autcon.2018.10.025
- MEHRBOD, Sarmad, STAUB-FRENCH, Sheryl, MAHYAR, Narges et TORY, Melanie, 2019b. Beyond the clash: investigating BIM-based building design coordination issue representation and resolution. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. 18 février 2019. Vol. 24, N° 3, pp. 33-57.
- MEHRBOD, Sarmad, STAUB-FRENCH, Sheryl et TORY, Melanie, 2020. BIM-based building design coordination: Processes, bottlenecks, and considerations. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2020. Vol. 47, N° 1, pp. 25-36. DOI 10.1139/cjce-2018-0287
- PAIK, Seong mok, LEVIKANGAS, Pekka et CHOI, Jongsoo, 2022. Making most of BIM in design: analysis of the importance of design coordination. *International Journal of Construction Management*. 10 septembre 2022. Vol. 22, N° 12, pp. 2225-2233. DOI 10.1080/15623599.2020.1774837
- PARK, Jae Hyuk et LEE, Ghang, 2017. Design coordination strategies in a 2D and BIM mixed-project environment: social dynamics and productivity. *Building Research & Information*. 18 août 2017. Vol. 45, N° 6, pp. 631-648. DOI 10.1080/09613218.2017.1288998
- RAHAL, Anabelle, TAULÉ, Pablo, DE BOISSIEU, Aurélie et LECLERCQ, Pierre, 2021. Collaborative platform in clashes resolution process: Study of the added value for BIM coordination. In : *CIB W78-LDAC 2021-The 38th CIB W78 conference on Information and Communication Technologies for AECO and the 8th LDAC workshop*. 2021.

- SACKS, Rafael, EASTMAN, Chuck, LEE, Ghang et TEICHOLZ, Paul, 2018. *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*. John Wiley & Sons. ISBN 1-119-28753-7
- SAGHATFOROUSH, Ehsan, HOSSEINI NOURZAD, Seyed Hossein, ZARERAVASAN, Ahad et JADIDOLESLAMI, Samereh, 2023. Enablers for BIM application in architectural design: a robust exploratory factor analysis approach. *International Journal of Construction Management*. 4 juillet 2023. Vol. 23, N° 9, pp. 1549-1559. DOI 10.1080/15623599.2021.1985775
- SANTOS, Eduardo Toledo et FERREIRA, Rita Cristina, 2008. Building design coordination, Comparing 2D and 3D methods. In: *CIB W78-25th International Conference on Information Technology in Construction, July*. 2008. pp. 15-17.
- SIERRA-APARICIO, Mónica Viviana, PONZ-TIENDA, José Luis et ROMERO-CORTÉS, Juan Pablo, 2019. BIM coordination oriented to facility management. In : *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering: Proceedings of the 35th CIB W78 2018 Conference: IT in Design, Construction, and Management*. Springer. 2019. pp. 123-128. ISBN 3-030-00219-5
- SUCCAR, Bilal et POIRIER, Erik, 2020. Lifecycle information transformation and exchange for delivering and managing digital and physical assets. *Automation in Construction*. 1er avril 2020. Vol. 112, pp. 103090. DOI 10.1016/j.autcon.2020.103090
- TAHRANI, Souha, BOTON, Conrad et FORGUES, Daniel, 2015. *Rapport Coordination 3D: Atelier sur la formalisation des pratiques de collaboration dans les projets ?BIM?* [en ligne]. Groupe de recherche en intégration et développement durable en environnement bâti (GRIDD). Disponible à l'adresse : <http://gridd.etsmtl.ca/publications/2015-11-24/%20atelier%20coordination%203D.pdf>
- TULKE, Jan, 2018. BIM-Based Design Coordination. In : BORRMANN, André, KÖNIG, Markus, KOCH, Christian et BEETZ, Jakob (éd.), *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice* [en ligne]. Cham : Springer International Publishing. pp. 317-327. [Consulté le 15 janvier 2024]. ISBN 978-3-319-92862-3. Disponible à l'adresse : https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_18
- TUVAL, Eliav et ISAAC, Shabtai, 2022. Online Planning and Management of Design Coordination Tasks with BIM: Challenges and Opportunities. *Journal of Management in Engineering*. 1er mai 2022. Vol. 38, N° 3, pp. 05022003. DOI 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0001027
- WANG, Yongqi, THANGASAMY, Vimal Kumar, HOU, Zhaoqi, TIONG, Robert L. K. et ZHANG, Limao, 2020. Collaborative relationship discovery in BIM project delivery: A social network analysis approach. *Automation in Construction*. 1er juin 2020. Vol. 114, pp. 103147. DOI 10.1016/j.autcon.2020.103147.